

2016年 秋季年会

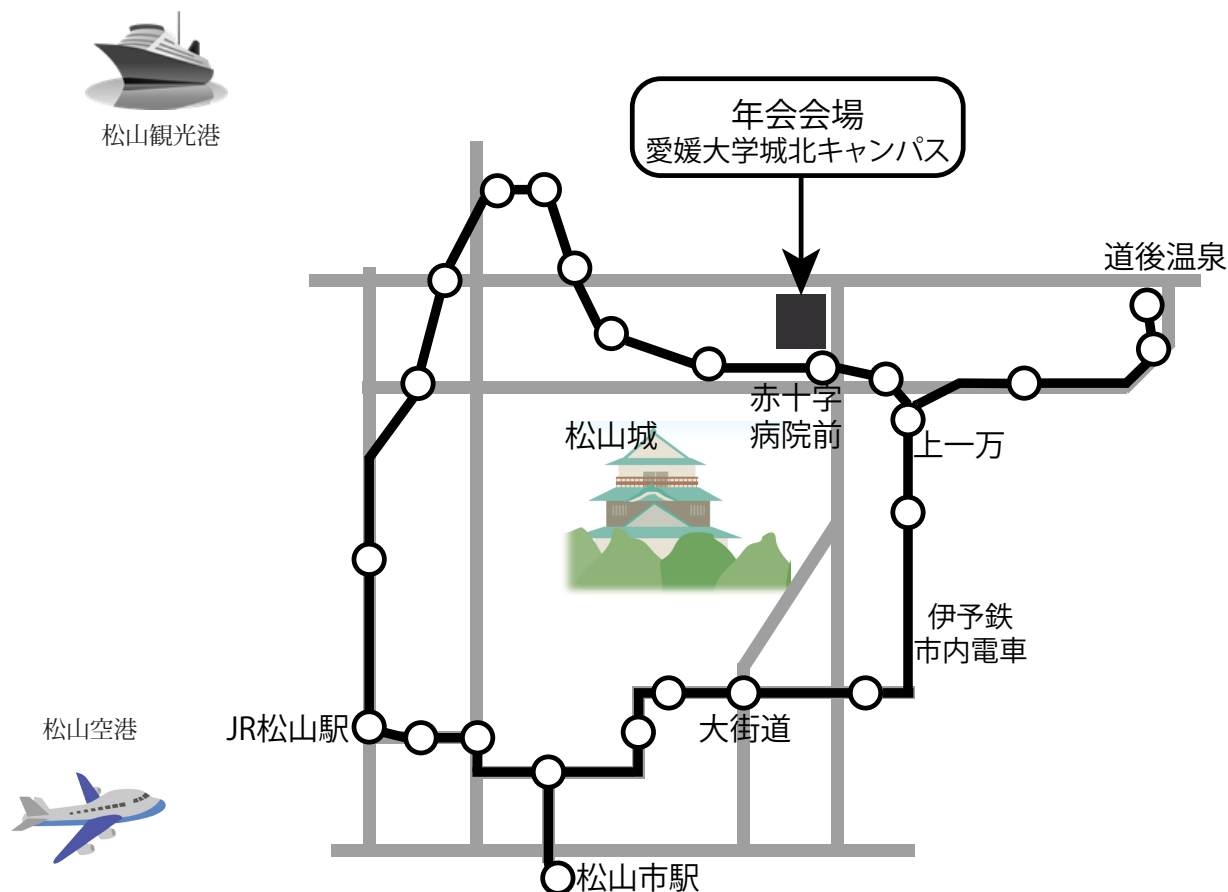
講演予稿集

電子版

於 愛媛大学

2016年9月14日(水) ~ 9月16日(金)

秋季年会会場 愛媛大学城北キャンパスのご案内



- JR 松山駅から

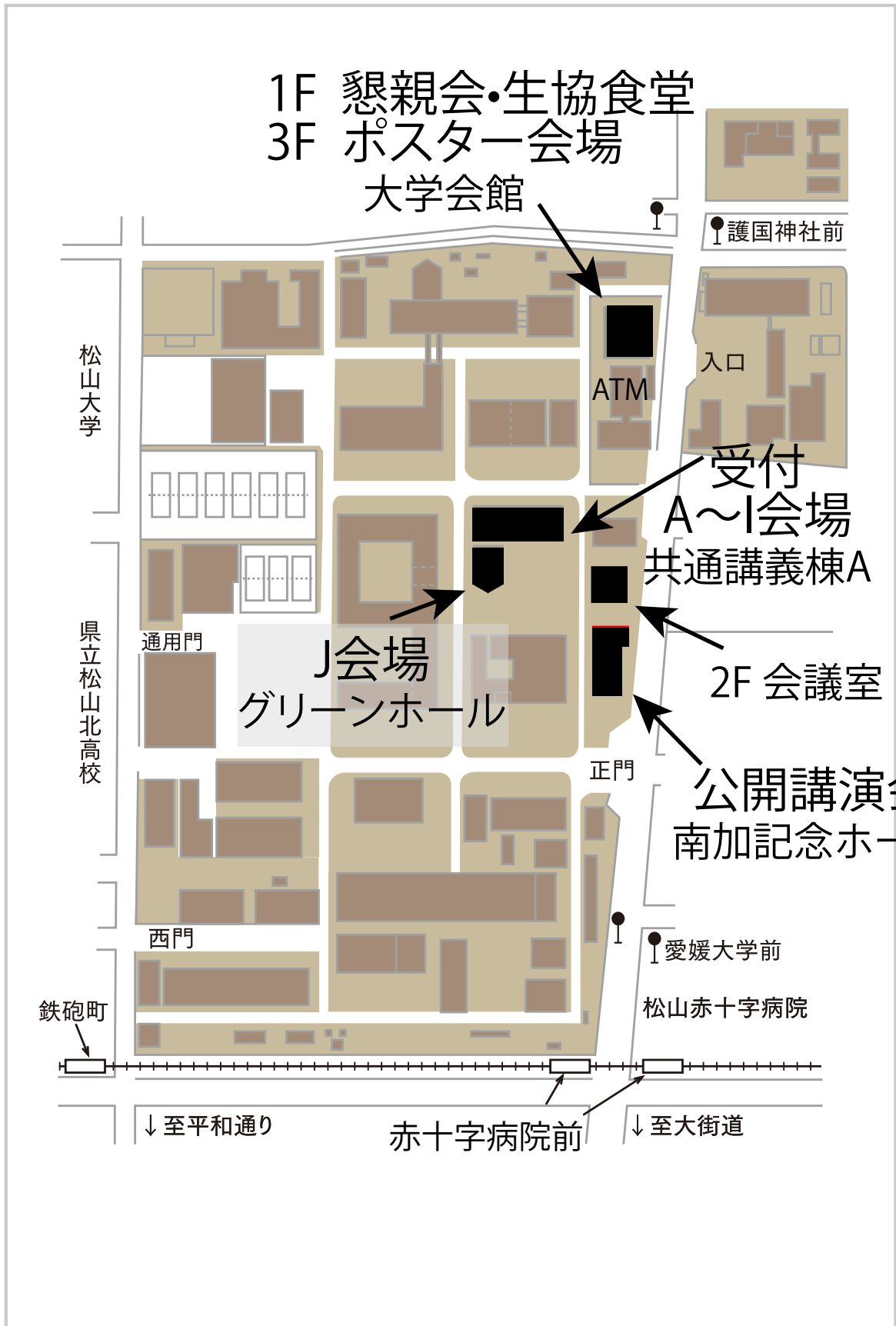
伊予鉄市内電車（環状線1番）古町方面（約20分）赤十字病院前下車 北へ徒歩2分

- 松山空港から JR 松山駅まで

空港リムジンバス 松山市駅行き または 道後温泉駅前行き（約15分）JR 松山駅下車

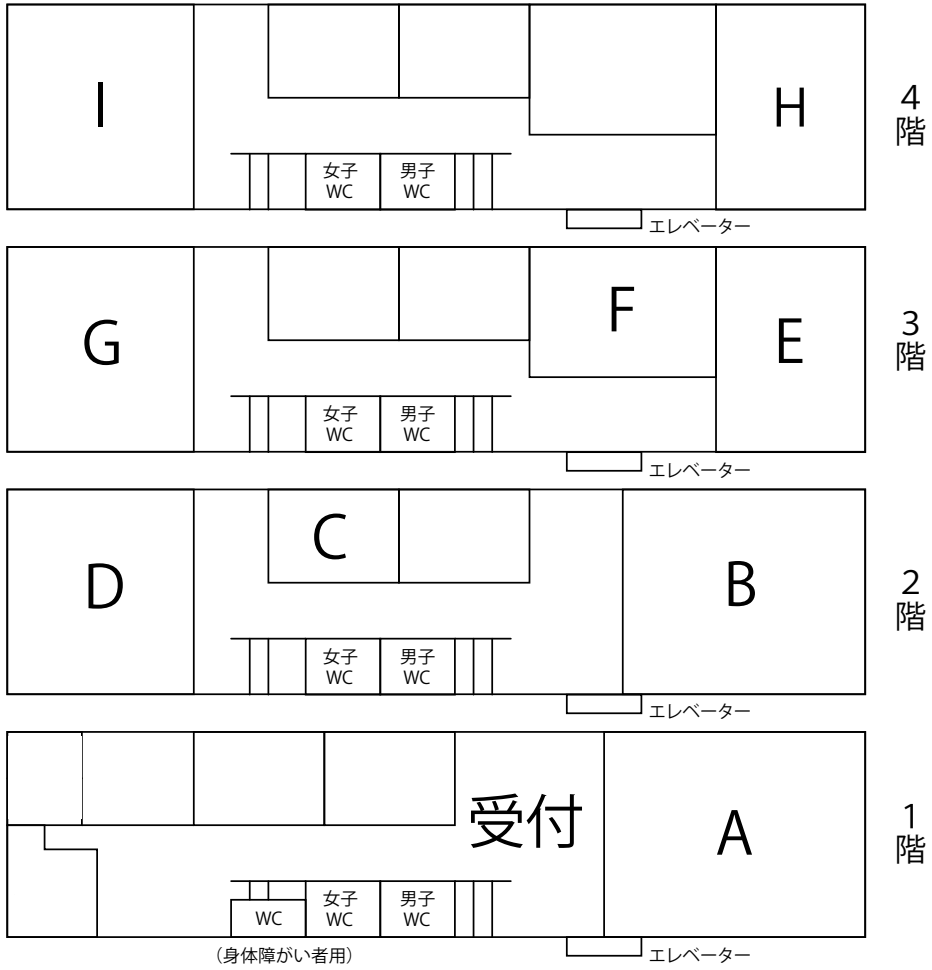
- 松山観光港から JR 松山駅まで

松山観光港リムジンバス 松山市駅行き または 道後温泉駅前行き（約20分）JR 松山駅下車

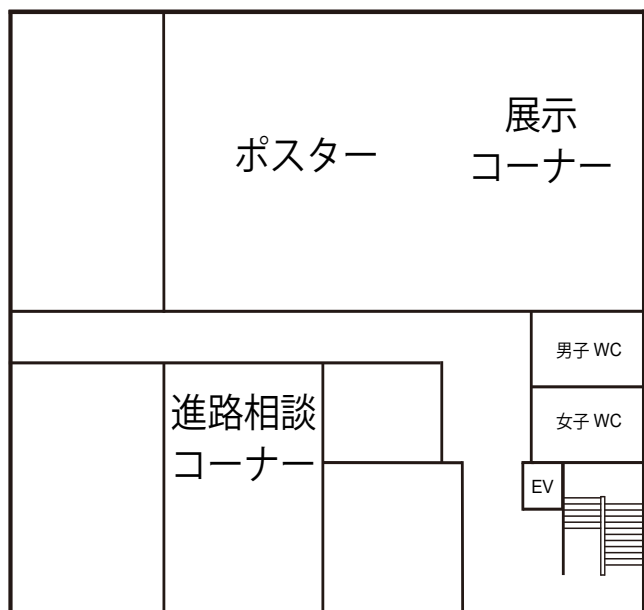


共通講義棟A

5階部分省略



大学会館 3階



口頭セッション 9月14日(水)

	A 会場	B 会場	C 会場	D 会場	E 会場	F 会場	G 会場	H 会場	I 会場	J 会場
開始時刻	【星・惑星】	【銀河核】	【銀河】	【星間現象】	【宇宙論】	【銀河団】	【恒星】	【太陽系】	【教育・他】	【データ科学】
11:00	P101a	S01a	R01a	Q01a	U01a	T01a	N01a	L01a	Y01a	Z101r } Z112b
11:12	P102a	S02a	R02a	Q02a	U02a	T02a	N02a	L02a	Y02a	
11:24	P103a	S03a	R03a	Q03a	U03a	T03a	N03a	L03b L04b L05b	Y03a	
11:36	P104a	S04a	R04a	Q05a	U04a	T04a	N04a	L06a	Y04a	
11:48	P105a	S05a	R05a	Q06a	U05a	T05b T06b	N05b N06b	L07a	Y05a	
12:00	P106a	S06a	R06a	Q07a	U06a	T07a	N07a	-	Y06a	
12:12	P107a	S07a	R07a	Q08a	U07a	T08a	N08a	-	Y07a	
12:24	P108a	S08a	R08a	Q09a	U08a	T09a	N09a	-	Y08a	
12:36	P109a	S09a	R10b R11b R12b	Q10b Q11b Q12b	U09a	T10a	N11a	-	Y09b Y10b Y11b	
12:48	P110a	-	R13a	Q13b Q14b Q15b	U10b U11b	T11a	N12a	-	Y12b	
13:00	P111a	-	-	-	-	-	-	-	-	
13:00	昼休み									
14:00	ポスター									
開始時刻	【星・惑星】	【銀河核】	【銀河】	【星間現象】	【宇宙論】/ 【観測機器】	【観測機器】	【恒星】	【コンパクト天体】	【銀河形成】	【データ科学】
15:00	P112a	S10a	R14a	Q16a	U12a	V201a	N13a	W201a	X01a	Z113r } Z121a
15:12	P113a	S11a	R15a	Q17a	U13a	V202a	N14a	W202a	X02a	
15:24	P114b P115b P116b	S12a	R16a	Q18a	U14a	V203a	N15a	W203a	X03a	
15:36	P117a	S13a	R17a	Q19a	V301a	V204b V205b V206b	N16a	W204a	X04a	
15:48	P118a	S14a	R18a	Q20a	V302a	V207a	N17a	W205a	X05a	
16:00	P119a	S15a	R19a	Q21a	V303a	V208a	N18b N19b N20b	W206a	X06a	
16:12	P121a	S16a	R21a	Q22a	V304a	V209a	N21a	W207a	X07a	
16:24	P122a	S17b S18b S19b	R22a	Q23a	V305b V306b V307b	V210a	N22a	W208a	X08a	
16:36	P123a	S20b S21b S22b	R23a	Q24a	V308a	V211a	N23a	W209a	X09a	
16:48	P124a	-	R24a	Q25a	V309a	V212a	-	W210a	X10b X11b	
17:00	P125a	-	-	Q26a	V310b V311b	-	-	W211b W213b W214b	-	
17:12	-	-	-	-	-	-	-	W215b	-	-
17:30	天文教育フォーラム (J 会場)									
19:15	理事会									

口頭セッション 9月15日(木)

	A 会場	B 会場	C 会場	D 会場	E 会場	F 会場	G 会場	H 会場	I 会場	J 会場
開始時刻	【星・惑星】	【銀河核】	【銀河】 / 【観測機器】	【星間現象】	【観測機器】	【観測機器】	【太陽】	【コンパクト天体】	【銀河形成】	【重力波天文】
09:30	P126a	S23a	R26a	Q27a	V312a	V213a	M01a	W101a	X12a	Z201r } Z211a
09:42	P127a	S24a	R27b R28b R29b	Q28a	V313a	V214a	M02a	W102a	X13a	
09:54	P128a	S25a	R30a	Q29a	V314a	V215a	M03a	W103a	X14a	
10:06	P129a	S26a	R31a	Q30a	V315a	V216b V217b V218b	M04a	W104a	X15a	
10:18	P130a	S27a	R32b V101b V102b	Q32a	V316a	V219b V220b V221b	M05a	W105a	X16a	
10:30	P131a	S28a	V103a	Q33a	V317a	V222a	M06b M07b M08b	W106a	X17a	
10:42	P132a	S29a	V104a	Q34a	V318a	V223a	M12b M13b M14b	W107a	X18a	
10:54	P133b P134b P135b	S30a	V105b V106b V107b	Q35a	V319b V320b V321b	V224b V225b V226b	M15b M16b M17b	W108a	X19b X20b X21b	
11:06	P136b P137b P138b	-	V109b V110b V111b	Q36a	V323b V324b	V227a	M18b M19b M20b	W109a	X22a	
11:18	P139b P140b P141b	-	V112b V113b	Q37a	-	V228a	M21b	W110a	X23a	
11:30	昼休み（代議員総会）（C会場）									
12:30	ポスター									
開始時刻	【星・惑星】	【星・惑星】	【観測機器】	【星間現象】	【観測機器】	【観測機器】	【太陽】	【コンパクト天体】	【銀河形成】	【重力波天文】
13:30	P142a	P201a	V115a	Q38a	V325a	V230a	M23a	W111a	X24a	Z212a } Z223b
13:42	P143a	P202a	V116a	Q39a	V326b V327b V328b	V231a	M24a	W112a	X25a	
13:54	P144a	P203a	V117a	Q40a	V329b V330b	V232b V233b V234b	M25a	W113a	X26a	
14:06	P145a	P204a	V118a	Q41a	V331a	V235a	M26a	W114a	X27a	
14:18	P146a	P205a	V119a	Q42a	V332a	V236a	M27a	W115a	X28a	
14:30	P147a	P206a	V120a	Q43a	V333a	V237a	M28a	W116a	X29a	
14:42	P148a	P207a	V121a	Q44a	V334a	V238a	M29a	W117a	X30a	
14:54	P149a	P208a	V122b V123b V124b	Q45a	V335a	V239a	M30a	W119b W120b W121b	X31b X32b X33b	
15:06	P150a	P209a	V125a	Q46a	V336a	V242a	M31a	W122b W123b W124b	X34a	
15:18	-	P210a	V126b V127b V128b	Q47a	V337b V338b	V243a	M32a	W125b W126b	X35a	
15:30	-	P211b P212b P213b	V129b V130b V131b	Q48a	-	-	-	-	-	
16:00	会員全体集会（J会場）									

口頭セッション 9月16日(金)

	A 会場	B 会場	C 会場	D 会場	E 会場	F 会場	G 会場	H 会場	I 会場	J 会場
開始時刻	【超新星爆発】	【星・惑星】	【観測機器】	【星間現象】	【観測機器】	【観測機器】	【太陽】	【コンパクト天体】	【銀河形成】	【重力波天文】
09:30	K01a	P216a	V132a	Q49a	V339a	V245a	M33a	W128a	X36a	Z224a } Z235a
09:42	K02a	P217a	V133a	Q50a	V340a	V246a	M34a	W129a	X37a	
09:54	K03a	P218a	V134b V135b V136b	Q51a	V341a	V247a	M35a	W130a	X38a	
10:06	K04a	P219a	V137a	Q52a	V342a	V248a	M36a	W131a	X39a	
10:18	K05a	P220a	V138b V139b V140b	-	V343a	V249a	M37a	W132a	X40a	
10:30	K06a	P221a	V141a	-	V344a	V250a	M38a	W133a	X43a	
10:42	K07a	P222a	V142a	-	V345a	V251a	M39a	W134a	X44a	
10:54	K08a	P223a	-	-	V346a	V252b V253b V255b	M40a	W135a	X45a	
11:06	K09a	P224b P226b P227b	-	-	V347a	V256a	M41a	W136a	X46a	
11:18	K10a	P229b P230b P231b	-	-	V348a	V257a	M42a	W137a	X47a	
11:30	K11a	-	-	-	-	V258a	-	-	-	
11:42	K12a	-	-	-	-	-	-	-	-	
11:54	K13a	-	-	-	-	-	-	-	-	
11:30	昼休み									
12:30	ポスター									
開始時刻		【星・惑星】	【観測機器】				【太陽】	【コンパクト天体】		
13:30	-	P232a	V143a	-	-	-	M43a	W138a	-	-
13:42	-	P233a	V144a	-	-	-	M44a	W139a	-	-
13:54	-	P234a	V145a	-	-	-	M45a	W140a	-	-
14:06	-	P235a	V146a	-	-	-	M46a	W141a	-	-
14:18	-	P236a	V147a	-	-	-	M47a	W142a	-	-
14:30	-	P237a	V148a	-	-	-	M48a	W143a	-	-
14:42	-	P238a	V149a	-	-	-	M49a	W144a	-	-
14:54	-	-	V150a	-	-	-	M50a	-	-	-
15:06	-	-	V151a	-	-	-	M51a	-	-	-

【Z1. データ科学】(7)

Z106b Z107b Z108b Z109b Z110b
Z111b Z112b

【Z2. 重力波天文】(1)

Z223b

【L. 太陽系】(7)

L03b L04b L05b L08c L09c
L10c L11c

【M. 太陽】(17)

M06b M07b M08b M09c M10c
M11c M12b M13b M14b M15b
M16b M17b M18b M19b M20b
M21b M22c

【N. 恒星】(6)

N05b N06b N10c N18b N19b
N20b

【P1. 星・惑星】(13)

P114b P115b P116b P120c P133b
P134b P135b P136b P137b P138b
P139b P140b P141b

【P2. 星・惑星】(13)

P211b P212b P213b P214c P215c
P224b P225c P226b P227b P228c
P229b P230b P231b

【Q. 星間現象】(8)

Q04c Q10b Q11b Q12b Q13b
Q14b Q15b Q31c

【R. 銀河】(10)

R09c R10b R11b R12b R20c
R25c R27b R28b R29b R32b

【S. 活動銀河核】(6)

S17b S18b S19b S20b S21b
S22b

【T. 銀河団】(2)

T05b T06b

【U. 宇宙論】(2)

U10b U11b

【V1. 観測機器】(27)

V101b V102b V105b V106b V107b
V108c V109b V110b V111b V112b
V113b V114c V122b V123b V124b
V126b V127b V128b V129b V130b
V131b V134b V135b V136b V138b
V139b V140b

【V2. 観測機器】(23)

V204b V205b V206b V216b V217b
V218b V219b V220b V221b V224b
V225b V226b V229c V232b V233b
V234b V240c V241c V244c V252b
V253b V254c V255b

【V3. 観測機器】(18)

V305b V306b V307b V310b V311b
V319b V320b V321b V322c V323b
V324b V326b V327b V328b V329b
V330b V337b V338b

【W1. コンパクト天体】(10)

W118c W119b W120b W121b W122b
W123b W124b W125b W126b W127c

【W2. コンパクト天体】(5)

W211b W212c W213b W214b W215b

【X. 銀河形成】(10)

X10b X11b X19b X20b X21b
X31b X32b X33b X41c X42c

【Y. 天文教育・他】(8)

Y09b Y10b Y11b Y12b Y13c
Y14c Y15c Y16c

【PDL】

【展示コーナー】

【Z1. データ科学としての天文学】

9月14日(水) 午前(11:00-13:00) [J会場]

Z101r	11:00	スパースモデリングとデータ駆動科学・(30)	岡田真人(東京大学)
Z102r	11:30	大規模高次元データ分析可視化の最新動向・(30)	藤代一成(慶應義塾大学)
Z103a	12:00	機械学習と統計学を活用したビッグデータ宇宙論・(12)	吉田直紀(東京大学)
Z104a	12:12	ベイズ推論に基づくスペクトルデータ解析手法の構築・(12)	村田伸(東京大学)
Z105a	12:24	Development of the Estimation for a Multivariate Distribution Function and Its Applications to Multi-wavelength Data Analysis・(12)	竹内努(名古屋大学)
Z106b	12:36	太陽フレア発生予測のための太陽画像自動認識と機械学習の応用・(3)	西塚直人(情報通信研究機構)
Z107b	12:36	コンピュータによる画像認識を利用した太陽表面子午面還流の検出・(3)	飯田佑輔(関西学院大学)
Z108b	12:36	データとして見る宇宙天気予報:統計的予報評価・(3)	久保勇樹(情報通信研究機構)
Z109b	12:48	ブレイザーで観測される偏光の時間変動の3次元可視化・(3)	植村誠(広島大学)
Z110b	12:48	スパースモデリングを用いた電波干渉計イメージング・(3)	本間希樹(国立天文台)
Z111b	12:48	太陽型星の光度変動に対するマルコフ連鎖モンテカルロ法の適用・(3)	幾田佳(京都大学)
Z112b	12:48	圧縮センシングのドップラートモグラフィーへの応用・(3)	大島誠人(兵庫県立大学)

9月14日(水) 午後(15:00-17:00) [J会場]

Z113r	15:00	スパースモデリングと天文データ解析・(24)	池田思朗(統計数理研究所)
Z114a	15:24	スパースモデリングによるM87中心核ジェットの超解像画像の復元・(12)	田崎文得(国立天文台)
Z115a	15:36	Event Horizon Telescopeによる電波銀河M87のブラックホールシャドウと直線偏光の超解像イメージング・(12)	秋山和徳(MIT Haystack Observatory)
Z116a	15:48	Tomo-e Gozenが拓く広視野動画観測による天文学・(12)	大澤亮(東京大学)
Z117a	16:00	スパース推定を用いたTomo-e Gozenデータ中の突発現象の選出・(12)	森井幹雄(統計数理研究所)
Z118a	16:12	スパースモデリングの天文学への応用:変光星の周期解析・(12)	木邑真理子(京都大学)
Z119a	16:24	行列分解を用いたセイファート銀河のX線スペクトル変動の解析・(12)	海老沢研(宇宙航空研究開発機構)
Z120a	16:36	大規模数値計算による宇宙大規模構造の情報伝播構造の定量的理解・(12)	西道啓博(東京大学)
Z121a	16:48	深層学習を用いたリアルタイム太陽フレア予測・(12)	村主崇行(理化学研究所)

Z101r スパースモデリングとデータ駆動科学

岡田真人 (東京大学)

ビッグデータや IoT(Internet of Things) などに代表されるように、大量の高次元計測データに隠された規則性を抽出するデータ解析の系統的技術の開発は、来たるべき「データ科学時代」における全ての科学分野に共通する喫緊の課題である。

本講演ではまず、その課題解決のためのキーテクノロジーの一つであるスパースモデリング (SpM: Sparse Modeling) を紹介する。SpM の基本的な考え方は (1) 高次元データを説明する本質的な変数 (説明変数) が次元数よりも少ない (スパース) と仮定し、(2) 説明変数の個数が小さくなることと、データへの適合とを同時に要請することにより、(3) 人手に頼らない自動的な説明変数の選択を可能にする枠組みである。次に、SpM の数学的な仕組みを紹介するとともに、ニュートン力学の発見に重要な寄与をした、ケプラーの法則が SpM として解釈できることを述べる。

SpM の適用例として、電波望遠鏡からの信号からブラックホールを撮影する試みと、MRI の高速撮像を紹介して、SpM が幅広い範囲の計測に有効であることを説明する。次に、SpM を音声情報や東日本大震災による津波堆積物の判別に適用した例を紹介することで、SpM は科学的知識発見に対しても有効であることを述べる。

最後に、これから本格化するデータ科学時代に向けて我が国の学術水準の優位を確立するために、スパースモデリングをキーテクノロジーとし、生命分子からブラックホールに至る、幅広い自然科学分野の実験・計測研究者と情報科学者の連携により、高次元データ駆動科学ともいふべき新学術領域を創成する試みについて紹介する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Z102r 大規模高次元データ分析可視化の最新動向

藤代一成（慶應義塾大学）

マルチモーダルな計測デバイスや高性能計算環境の発展により、得られる数値データの複雑度は格段に増しつつある。そこに隠された特徴的な構造や挙動を視覚的に分析することによって、計測/シミュレーション対象に関する有用な知見を効果的に獲得する横断的方法論—コンピュータ可視化に関する最近の研究開発動向について、系統的に講述する。

特に、高次元の説明変数を通常のディスプレイ環境で表示可能になるまで次元削減し、所与の問題を記述するデータの本質を捉えようとする普遍的なアプローチについて詳説する。具体的には、代表的な高次元情報可視化技法の一つである平行座標系表示を採り上げ、その視覚分析能力のスケラビリティを次元数やサンプル数に対して維持する目的で開発された、非対称バイクラスタリングに基づく部分空間探索手法を紹介する。さらに、天文学データ分析における実利的効果を検証するために、超新星の分類問題への適用事例に言及し、同手法がもつポテンシャルの高さについて議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Z103a 機械学習と統計学を活用したビッグデータ宇宙論

吉田直紀 (東京大学カブリ IPMU)

2014年から開始されたすばる HSC サーベイは順調に宇宙観測画像データ取得をすすめており、今年度には初年度データリリースも予定されている。我々は2014年からCRESTプロジェクト「統計計算宇宙物理学」をすすめており、これまでに機械学習を用いた超新星検出や、大規模シミュレーションによる宇宙の物質分布の統計、観測データパイプラインの高速化、高速データベース構築など様々な研究を行ってきた。講演ではこのプロジェクトの取り組みと最近の成果を紹介する。超新星検出では Boosting 法、ランダムフォレスト、ディープネットをそれぞれ訓練し、それらの多数決によって判別を行う判別器を開発した。実際の画像に超新星の画像を埋め込んでデータの片寄りを補正し、AUC (Area Under the Curve) によって判別機を評価した。自動判別器を2016年度に行われる HSC 変動天体サーベイにも適用し、多数の Ia 型超新星を検出するための準備もすすめている。

宇宙論グループは宇宙の構造形成の大規模理論シミュレーションを開始し、重力レンズサーベイデータ解析のためのデータベースを構築した。1つのシミュレーションでは、1Gpc 立方の計算領域内で80億個の質量粒子の重力 N 体進化を追う。このシミュレーションを、宇宙論パラメータを変えて100個行い、銀河重力レンズの統計量を正確に求めた。パラメータ空間探索にはラテン超格子法やガウス過程など、統計学からの知見を活用して探索効率を高めた。今後もシミュレーション数を増やし、最終的には数百個のシミュレーションデータベースを構築し、共分散行列など宇宙論パラメータ推定のための統計量を計算する。講演の最後には、今後世界的に展開される大規模サーベイ計画とその巨大データ解析の展望を議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Z104a ベイズ推論に基づくスペクトルデータ解析手法の構築

村田伸（東京大学）、永田賢二（産総研）、植村誠（広島大学）、岡田真人（東京大学）

スペクトル分解とは、複数のピークを持つ線スペクトルをガウス関数などの基底関数の足し合わせとして回帰する問題である。天文学においては、対象の天体の素性を明らかにするために用いることが可能であると期待される。すなわち、対象の天体中の特定の原子や分子の存在・温度などの特徴を、基底関数のパラメータである中心位置・幅などと対応付けることが可能である。また、基底関数の数をデータから客観的に決定することはモデル選択と呼ばれ、スペクトル中のピークを正しく分離するために必要となる。

Nagataらはベイズ推論を用いることで、パラメータ推定とモデル選択をデータから客観的に行う枠組みを開発した [Nagata, Sugita, Okada, 2012]。ベイズ推論の枠組みでは、データの生成・観測過程を確率的に定式化し、ベイズの定理を用いて、観測結果からその原因であるパラメータを事後分布として推定可能である。また、確率的定式化に基底関数の数を組み込むことで、データからその数も決定することができる。ベイズ推論における事後分布の推定は一般に解析的に解くことは難しく、また、モデル選択には多重積分が必要となる。Nagataらはこれらの問題を数値サンプリング手法であるレプリカ交換法を用いて解決した。

先行研究において、時間構造は考慮されていないが、実際の観測においてスペクトルは時系列で得られる。このとき、時間相関を適切にモデル化し、推定するパラメータの探索範囲を限定することで、推定性能が向上することが期待される。我々は先行研究の方法を拡張し、自己回帰モデルと呼ばれる時間相関を考慮した時系列スペクトル分解を構築した。本講演ではベイズ的スペクトル分解法とその時系列データへの拡張と、人工データによる性能評価の結果を紹介する。また、今後の実データへの適用の展望を議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Z105a **Development of the Estimation for a Multivariate Distribution Function and Its Applications to Multiwavelength Data Analysis**

竹内 努 (名古屋大学)

A recent vast progress of multiwavelength surveys brought a new insight to astronomical studies, but at the same time, new difficult problems in the data analysis. Handling multiwavelength data immediately introduces a messy entanglement of various selection effects. Then, an appropriate analysis for such a complicated dataset is crucial for such situation, in order to avoid an improper or even often erroneous interpretation of data.

When we have a multiwavelength (or more generally, a multivariate) dataset, various methods have been already developed to estimate a multivariate distribution function (DF) based on pivot data, corresponding to a primary selection band in astronomy. However, nowadays such a method is quite limited to make a maximal use of the information contained in the data. We first introduce a recent development of the maximum likelihood method to estimate a multivariate DF with a copula function. When we have a set of marginal DFs at each wavelength, we can construct a multivariate DF incorporated with (generally nonlinear) correlations between different wavelengths. This is a direct extension of the traditional parametric method for the estimation of the distribution function with a selection effect. The copula function enabled to deal with a combination of various selection effects like truncation and censoring. Then we try to extend this method to a completely nonparametric estimation.

These methods are surely useful for the forthcoming huge multiwavelength surveys in the near future.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Z106b 太陽フレア発生予測のための太陽画像自動認識と機械学習の応用

西塚直人, 久保勇樹, 田光江, 亘慎一, 石井守 (情報通信研究機構 電磁波研究所), 杉浦孔明 (情報通信研究機構 先進的音声翻訳研究開発推進センター)

太陽フレアは黒点上空の磁場のエネルギーが解放される現象であり、黒点形状やベクトル磁場、彩層発光といった周囲の環境を詳細に観測することで、その発生を予測できると考えられている。近年の太陽衛星観測によって、リアルタイムで膨大な量の太陽観測データが取得可能になった。機械学習を用いることでこれらのデータをフル活用し、1日以内に発生する太陽フレアの予測精度を上げることが本研究の目的である。

我々は2010-2015年のSDO衛星観測磁場・彩層データベースを構築した。次に着目領域(活動領域)を自動検出し、磁気中性線などの特徴量を画像認識によって抽出した。6年分のデータベースには、Xクラスフレア約40例、Mクラスフレア400例の観測を含み、検出領域画像にフレア情報を付加した。1時間1枚に間引いた合計30万枚(×6波長)の太陽画像をもとに特徴量データベースを作成し、サポートベクターマシーン、k最近傍法、エクストラ・ランダム・ツリーといった3種類の機械学習精度を比較した。予測評価はTSS(True Skill Statistics)を用い、既存論文では0.5-0.8であるのに対して(1.0が理想)、0.8以上のスコアを出すことに成功した。さらに本講演では、リアルタイム運用における予報評価に関して議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Z107b コンピュータによる画像認識を利用した太陽表面子午面還流の検出

飯田佑輔 (関西学院大学)

太陽活動やその起源となる太陽磁場の周期性の謎は、シュワーベによる黒点周期の発見 (1843 年) から 150 年以上に渡る大問題である。これまでには理論研究を中心として行われ、磁束輸送ダイナモと言われる理論モデルが提唱されるに至った。磁束輸送ダイナモモデルでは、対流層における乱流と南北方向への流れである子午面還流による磁場輸送が重要となる。しかし、これらの観測的検証は難しい。なぜならば、1つ1つの輸送される磁場は太陽半径の $1/1000$ 程度以下と小さく、莫大な数の磁場要素を調べる必要があるためである。さらに、子午面還流はわずか 10 m s^{-1} 程度と考えられている。太陽表面は 1 km s^{-1} 程度の対流場で覆われており、わずか 1% 程度の磁場輸送異方性と期待される。一方で、近年の継続的な衛星観測によって、ビッグデータと言えるほどの大量の観測データは取得されつつある。この莫大な量のデータを、従来からの人の目や手を主とした方法ではなく、新たな手法で解析して莫大な磁場要素の統計を可能としなければならない。

本研究では、太陽表面磁場の時系列データに、発表者らが開発した画像認識手法を適用することで、子午面還流の検出を目指した。解析データには、Solar Dynamics Observatory が取得する全面磁場データの1ヶ月分を、6分の時間間隔で用いた。データ総量は300GB程度であり、全ての磁場要素を人の目で追跡することは現実的に不可能である。この時系列データにおいて、磁場要素の運動における南北方向の異方性を調べた。得られた異方性は、赤道付近で小さく、高緯度に向かうにつれて大きくなり、60度付近で 15 m s^{-1} 程度の大きさを持っていた。講演では、本研究で検出された輸送の異方性と理論的に期待されている子午面還流との比較や、本手法の優位性について議論する。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

Z108b データとして見る宇宙天気予報：統計的予報評価

久保勇樹, 田光江, 石橋弘光 (情報通信研究機構)

宇宙天気予報は、太陽フレアや地磁気嵐など太陽地球システムの変動と、その社会インフラへの影響を予報することを目的としている。情報通信研究機構 (NICT) では、毎日休むことなく宇宙天気予報を発信しているが、その予報は太陽 - 太陽風 - 磁気圏 - 電離圏の様々な観測データや数値シミュレーションデータを解析することで決定される。予報は、それがどのような精度や特徴をもっているのかといった情報と共に発信されることで、初めて有用な情報となる。そのため、発信された予報そのものをデータとして解析し、その精度等を評価することが重要となる。気象予報では予報評価研究は古くから行なわれているが、宇宙天気予報に関してはまだ始まったばかりであり、今後活発に進められるべき課題である。

予報評価手法は、例えば決定論的予報か確率予報か、カテゴリー予報か連続値予報か、といった予報の種類によって様々な方法が存在するが、全てに共通する基本的な考え方は、予報と観測結果の組を同時確率分布の一つの実現値とみなすという統計学的な考え方である。その意味で予報の評価は統計的評価である。

NICT では、長年蓄積された宇宙天気予報データを用いて予報評価研究を行っている。予報評価では、様々なスキルスコア等を推定する方法がよく用いられるが、予報データから推定される様々なスキルスコア等のパラメータ値は有限の予報データサンプルから計算されるため、真のパラメータ値の推定値でしかない。そのため、統計的予報評価では推定された値とその信頼区間を併記することが望ましい。本発表では、NICT で行っている決定論的カテゴリー予報の統計的予報評価を中心に、パラメータ値の信頼区間の構成法等についても紹介したい。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Z109b ブレーザーで観測される偏光の時間変動の3次元可視化

植村誠 (広島大学), 伊藤亮介 (東京工業大学), Longyin Xu, 中山雅紀, Hsiang-Yun Wu (慶應義塾大学), 渡辺一帆 (豊橋技術科学大学), 高橋成雄 (会津大学), 藤代一成 (慶應義塾大学)

活動銀河核のうち、ジェットが観測者の方向を向き、ビーミング効果によってジェットからの放射が卓越して観測される天体はブレーザーと呼ばれる。ブレーザーではシンクロトロン放射に起因した高い偏光が観測され、ジェットの磁場構造を知る上で重要である。一方、ブレーザーの光度は激しく変動することが知られ、それに付随して偏光も変動する。偏光の時間変動から光度変動の機構の手がかりを得ることができる。しかし、観測される偏光は複数の偏光放射源の重ね合わせであることが多く、その場合、偏光度・偏光方位角の時間変化ではなく、2次元のストークス Q, U 平面上の時間変化を調べる必要がある。ここで問題となるのは、データ量の増加に伴い、2次元平面上の変動と光度やその他の測定量の時系列データの相関を目で見ることが困難なことである。

そこで我々は、2次元平面に時間軸を加えた3次元空間内で天体の偏光変動をチューブとして可視化するツール”TimeTubes”を開発した。チューブの中心を観測された Q, U 、チューブの半径をそれぞれの測定誤差、チューブの色を天体の光度と色に充てることで、6次元の量を1つの画面で見ることができる。我々は広島大学かなた望遠鏡が取得したブレーザーの偏光データにこのツールを用いた。その結果、偏光角の回転、特に中心が Q, U の原点から外れた回転現象や、フレアの偏光角が特定の範囲に偏る傾向などが認識しやすくなることを確認した。特にブレーザー PKS 1749 + 096 では、偏光角の回転とフレア極大の偏光角の偏りが同時に見られ、さらにフレアの偏光角が電波ジェットの方向に平行であることがわかった。この結果は、放射源が視線方向に動く時にビーミング効果を最も強く受け、明るく観測されることを示唆している。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Z110b スパースモデリングを用いた電波干渉計イメージング

本間希樹、田崎文得、倉持一輝、秦和弘（国立天文台）、秋山和徳（MIT）、池田思朗（統数研）

スパースモデリングとは、従来法では解けない劣決定問題を、解の疎性に注目して適切に解く手法の総称である。近年、圧縮センシングに代表される L_1 -ノルムを制約項として用いる手法が情報科学分野を中心に急速に発展し、さまざま分野でその応用が広まりつつある。本講演では、 L_1 -ノルムなどの制約項を電波干渉計のイメージングに適用するメリットを紹介するとともに、それを用いたブラックホール撮像の今後の展開について紹介する。

一般に電波干渉計のイメージングの基礎方程式は、周波数空間とイメージ空間を結ぶ2次元フーリエ変換である。しかし、実際の観測では周波数空間のサンプリングが不十分なために、必要情報の一部が欠損した劣決定問題となり、観測データを再現可能なイメージが無数に存在する。この問題を回避するために、従来はサンプリングされなかった周波数空間上の観測量を0とすることで画像を得ていたが、このような0挿入を行うと人工的なゴースト（サイドローブ）や広がりを持った主ビームが発生し、画像の劣化の要因となっていた。

このような問題を回避して同じデータからより良いイメージの再構築を実現するため、我々は制約項として L_1 ノルムや画像の一次微分量 (Total Variation) などの最小化を用いたイメージング手法を開発した。さらに我々は、この手法をミリ波 VLBI 観測によるブラックホール撮像を模したシミュレーションデータに適用し、従来法よりも優れたイメージング性能を発揮することも示した。本講演では、これらの手法とその成果の概要について紹介し、ブラックホール撮像や将来の大型電波干渉計のイメージングへのインパクトについても議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Z111b 太陽型星の光度変動に対するマルコフ連鎖モンテカルロ法の適用

幾田佳, 野上大作 (京都大学), 前原裕之 (国立天文台), 野津湧太, 野津翔太, 行方宏介, 柴田一成 (京都大学), 本田敏志 (兵庫県立大学)

天文学における時系列データとして、光度の時間変動を表す光度曲線がある。光度曲線は、天体の物理的な時間変動を考察するのに有効であるが、詳細な物理量を精査するには理論モデルに最適化する統計的手法が必要となる。

本研究では、ケプラー衛星の高精度の測光観測による太陽型星 (G 型の主系列星) の光度曲線と一時的に大増光を示すスーパーフレアに照準を合わせた。太陽型星は、自転によって黒点の見え方が変わるため、光度曲線に準周期的な時間変動が見られる。また、恒星表面での黒点近傍の磁場に駆動される突発的爆発現象であるフレアによって光度が一時的に明るくなり、特に巨大黒点による大規模なフレア (スーパーフレア) が、自転周期が早く若い太陽型星ほど頻繁に起こることが報告されている (Maehara et al. 2012 Nature, Shibayama et al. 2013 ApJS, 他)。

そこで、自転と黒点の存在によって光度が変動する理論モデルの光度曲線 (Dorren 1987) に対して、観測された光度曲線をマルコフ連鎖モンテカルロ法で最適化して、自転周期、黒点の大きさや緯度の時間変動といった多数の物理量を推定し、自転周期 (太陽型星の年齢) とスーパーフレアの頻度や、巨大黒点とスーパーフレアの相関を精査した。分光観測では推定できない (誤差が大きい) 物理量を推定できる点、分光観測による物理量の推定結果と独立して比較検討できる点、将来的な分光観測の対象天体に制限をかけられる点でも、本研究の手法は有益である。

本発表では、先行研究 (Bonanno et al. 2014, 他) を礎に、本研究の手法の紹介と幾つかの太陽型星に対する研究経過を報告し、マルコフ連鎖モンテカルロ法の将来的な汎用への見解を提示する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Z112b 圧縮センシングのドップラートモグラフィーへの応用

大島誠人（兵庫県立大学）、植村誠（広島大学）

激変星は、赤色矮星と白色矮星からなる近接連星系で、赤色矮星がロッシュローブを満たしており白色矮星表面への降着が起きている天体である。多くの場合、円盤を介して降着が生じており、形成された円盤上での数々の活動現象が見られることが知られている。

これらの活動現象のうち、矮新星アウトバーストは降着円盤上に伴星から輸送された物質が降着することによって、円盤上に熱的不安定や潮汐不安定性が引き起こされて円盤が明るく輝く現象である。アウトバーストの最中の円盤の様子の時間発展については、これまで光度曲線の形状などから論じられてきたが、矮新星アウトバーストが突発的現象であることもあって、観測的なアプローチはあまりなされてこなかった。

降着円盤のスペクトルから輝度分布を再現するための方法として広く知られている手法に、ドップラートモグラフィーがある。これは、公転運動に伴うスペクトル線のプロファイルの変動から速度空間上での輝度分布を再現する方法である。

このドップラートモグラフィーを行うために、これまでは主に最大エントロピー法が用いられていたが、この方法はデータが少ない場合ノイズの影響であまり詳細な再現をすることができない。そのため、アウトバースト最中の円盤の時間発展を追うことが難しかったが、圧縮センシングを用いた total variation minimization を使ってドップラートモグラフィーを行うと、より詳細な時間変動を追うことが可能となる。

当研究では、2015年10月にアウトバーストを示した HT Cas のデータを用いて、TVM によるアウトバースト中の円盤構造の再現を試みた。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Z113r スパースモデリングと天文データ解析

池田思朗 (統数研)

ビッグデータ, 機械学習, そして最近の統計学の技術革新, こうしたデータ科学の発展によって, データ解析の方法は近年格段に進歩している. 新たな解析の技術を, 計測器や計算機の発達に伴い, 量, 質ともに大きく変化している天文データの解析に生かすことは, これからの天文学の発展に不可欠である.

データ科学の立場から今後の天文学の課題を考えると, 次の3つの方向性が重要となるだろう. 1. 既存の科学の方法をビッグデータへスケールアップする. 2. 計測の限界を新たな解析方法によってさらに推し進める. 3. データ科学的アプローチによって新たな科学を創造する. 1. は天文における情報爆発である. データの圧縮, 処理の高速化, といった課題を達成する必要があるだろう. 2. に関しては, 現在, 様々な波長の観測において, 機械学習的な手法を用いた改善手法が提案されつつある. 3. の課題は今後の科学にデータ科学がどのように生かされるか, という問題である.

本講演では, 主に2. について述べる. いくつかの波長におけるイメージングの手法が, スパースモデリングの方法によってどのように改善されるかについて話題を提供する.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Z114a スパースモデリングによる M87 中心核ジェットの超解像画像の復元

田崎文得, 磯野陽子, 秦和弘, 本間希樹 (国立天文台), 倉持一輝 (東京大/国立天文台), 秋山和徳 (マサチューセッツ工科大), 池田思朗 (統計数理研究所)

我々は、サブミリ波超長基線電波干渉計 (VLBI) である Event Horizon Telescope (EHT) の国際プロジェクトに参加し、ブラックホールシャドウの撮像を目指している。シャドウの検出をより確実なものにするために、これまでに日本チームは独自に超解像な画像の復元手法を開発した。

本研究では、その手法を使って、おとめ座にある巨大電波銀河 M87 の中心核ジェットの超解像画像を復元した。M87 は太陽の 30-60 億倍もの質量をもつ超巨大質量ブラックホールを中心に有し、その視半径 (シュバルツシルト半径; R_s) は 3-7 マイクロ秒角と、銀河系中心のブラックホールに次ぐ大きさであることから、EHT のブラックホールシャドウ撮像の重要なターゲットである。研究に使用したデータは、米国の VLBI である VLBA を使って 7 mm から 13 cm にわたる計 6 帯域の多波長観測によって得られたもので、この天体の中心核周辺の画像を復元したところ、中心核から噴出するジェットを検出した。

本講演では、2015 年春季年会中の講演 (S08a) で課題として挙げた「画像復元の正則化パラメータを推定する手法の開発」とその結果について報告する。さらに、この方法に基づいて得られた画像から、M87 のジェットが遠くても中心核 から 0.3 ミリ秒角 ($100 R_s$) 以内から噴出していることがわかった。加えて、先行研究で知られているジェットの開口角が根元で大きくなることや、カウンタージェットの存在も確認できた。以上の結果をまとめ、更に短波長である 3 mm の観測結果とも比較することで、多波長データに基づいてジェット根元の形状を議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Z115a **Event Horizon Telescope による電波銀河 M87 のブラックホールシャドウと直線偏光の超解像イメージング**

秋山和徳 (MIT Haystack Observatory), 池田思朗 (統計数理研究所), 倉持一輝 (東京大学/国立天文台), 田崎文得, 本間希樹 (国立天文台)

おとめ座銀河団中心に存在する巨大楕円銀河 M 87 には、銀河系中心 Sgr A* に次いで全天で最も角サイズが大きい超巨大ブラックホール ($1 R_s \sim 7.3 \mu\text{as}$) が存在する。これら 2 天体のブラックホールシャドウ検出を目指す国際サブミリ波 VLBI 観測網 Event Horizon Telescope (EHT) は、ついに来年 2017 年春に ALMA が参加する本格的な科学観測を開始する。来年の EHT+ALMA の観測開始に向けて、我々はこれまで疎性モデリングを駆使した超解像イメージング手法の開発に取り組んできた。これまでの研究から、LASSO や TV 最小化といった疎性モデリングの手法が、電波干渉計の一般的なデータである複素ビジビリティからの超解像イメージングに有効であることはすでに示されている。

我々はさらに、(i) 現在 EHT や赤外線干渉計において標準的に使われているビジビリティの振幅項とクロージャー位相のみのデータ、(ii) 偏光観測データ、という新たな 2 種類の観測データからそれぞれ疎性モデリングを用いてイメージングを行う手法を開発した。これらの手法を EHT+ALMA による M87 の観測のシミュレーションデータに応用し、MSE や DSSIM といった複数のイメージフィデリティの計量で品質を評価した結果、回折限界 (λ/D) の 2 倍程度の解像度で誤差数%以下、4 倍程度でも約 10%以下、と他の最新のイメージング手法と同等あるいはより高い品質の超解像イメージが得られることが分かった。本講演ではこれらの手法とシミュレーション結果を紹介し、2017 年以後の EHT+ALMA による超巨大ブラックホール撮像の展望を紹介する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Z116a Tomo-e Gozen が拓く広視野動画観測による天文学

大澤亮, 酒向重行 (東京大学), 池田思朗, 森井幹雄 (統計数理研究所), 高橋英則, 一木真, 山口淳平, 小林尚人, 土居守, 本原顕太郎, 宮田隆志, 諸隈智貴, 青木勉, 征矢野隆夫, 樽沢賢一, 三戸洋之, 中田好一, 谷口由貴, 小久保充, 満田和真, 猿楽祐樹, 松永典之, 谷川衝 (東京大学), 臼井文彦 (神戸大学), 田中雅臣, 有松巨, 渡部潤一, 前原裕之 (国立天文台), 吉川真 (ISAS/JAXA), 富永望 (甲南大学), 板由房, 小野里宏樹 (東北大学), 春日敏測 (千葉工業大学), 奥村真一郎, 浦川聖太郎 (日本スペースガード協会), 佐藤幹哉 (かわさき宙と緑の科学館), 河北秀世 (京都産業大学)

東京大学木曾観測所では次世代の超広視野高速 CMOS カメラ Tomo-e Gozen を開発している。Tomo-e Gozen は 84 枚の CMOS センサを用いて約 20 deg^2 の領域を最大 2 Hz で記録する世界で初めての天文用広視野動画カメラである。Tomo-e Gozen の高い時間分解能とサーベイ能力によって、宇宙における突発的で希少な現象の網羅的な探査が初めて可能となる。広視野動画天文学の実現には一晩 30 TB を超えるデータを高速かつ自動で解析する必要がある。また実験機による試験観測の結果から、動画観測ではこれまで時間積分によって隠されてきた星像や大気透過率の変動を正しく補正することが重要であることもわかってきた。我々は機械学習やデータの冗長性に基づく解析手法を採用することでこれらの問題解決に取り組んでいる。サブ秒スケールでの突発現象や微光流星の探査では大量の誤検出の中から求める信号を確実に抽出するために、機械学習を用いたアプローチを進めている。また、動画観測でも適切な背景差分処理や信頼できる測光結果を得るために、データの疎性に注目した解析手法の開発を進めている。発表では試験観測によって取得した動画データを紹介しつつ、広視野動画データの特徴と動画観測の可能性について議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Z117a スパース推定を用いた Tomo-e Gozen データ中の突発現象の選出

森井幹雄, 池田思朗 (統計数理研究所), 大澤亮, 酒向重行 (東京大学)

Tomo-e Gozen は、東京大学木曾観測所の望遠鏡に取り付けられる次世代の超広視野高速 CMOS カメラである。84 枚の CMOS センサーからなり、約 20deg^2 の視野を 2Hz で撮影する。CMOS センサ 1 枚の撮像可能領域は、 $2000(\text{pixel}) \times 1128(\text{pixel})$ である。一晩の観測では 30TB を越えるデータ量となるため、運用上、データを圧縮する必要がある。Tomo-e Gozen の観測の目的のひとつは、稀にしか発生しない突発現象の発見であるため、単なる画像圧縮ではなく、天体画像に適した圧縮の方法を開発する必要がある。

我々は近年機械学習の分野で提案されている行列分解の手法 (Robust PCA, GoDec) を用いることを提案する。こうした手法では、行列を低ランク行列とスパース行列とに分離する。数 100 フレームにわたる Tomo-e Gozen のデータを行列として表現し、これらの手法を適用することによって、定常的な天体は低ランク行列に、突発現象はスパース行列に自動的に分離できることを確かめた。この手法を用いれば、大幅なデータ圧縮が可能になる。

実用上の問題は計算時間である。 2000×1128 pixel の画像データを、観測時間以下の間に 1CPU で処理することが目標である。高速化に取り組んだ結果、観測時間とほぼ同じ速度で処理できる見通しが立ったことを報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Z118a スパースモデリングの天文学への応用：変光星の周期解析

木邑真理子, 加藤太一, 野上大作 (京都大学), 植村誠 (広島大学)

近年、情報科学分野において、データの「疎性」を利用することで高次元のデータから本質的な低次元の情報を抽出するスパースモデリングという技術が注目を集めており、天文学分野への応用が進んでいる。その応用例の一つが、Lasso(least absolute shrinkage and selection operator) 法を用いた変光星の光度変動の周期解析である。Lasso 法は、線形回帰の問題に1次ノルムの項を加え、1次ノルム最小化によってスパースな解を選択する手法である (Tibshirani 1996, *J. Royal Statistics Soc., Ser. B*, 58, 267)。天文学で扱う観測データは、天候や季節の影響により欠損部分が発生し、サンプリング周波数が一定でないことが多く、フーリエ解析などの従来の手法では偽の信号の発生するなどして正確な周期を検出することが困難であった。しかし、最近の研究により、データが複数の周波数信号の重ね合わせで再現できる (周波数空間でスパースである) 場合には、Lasso 法を用いることにより正確な周期が検出できることが証明された (Kato & Uemura 2012, *PASJ*, 64, 122)。

変光星の一種の矮新星は、白色矮星 (主星) と晩期型星 (伴星) から成る近接連星系であり、間欠的に急激な増光を示す。この天体では、伴星からの質量輸送によって主星の周囲に形成される降着円盤に伴星の潮汐力が作用することで発生する円盤の離心変形や、白色矮星の非動径脈動などが原因で、様々な周期的光度変動が観測される。京都大学可視恒星グループは、矮新星の可視連続測光観測データに Lasso 法による周期解析を適用し、(1) 天文衛星による連続的な長期間の観測データ、(2) 地上観測による不連続な長期間の観測データ、(3) 地上観測による不連続な短期間の観測データにおいて、近接した複数の周波数信号を明瞭に分解し、その周期の時間変動を検出することに成功した。本講演では、それぞれの項目での代表例を紹介する。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

Z119a 行列分解を用いたセイファート銀河の X 線スペクトル変動の解析

海老沢 研, Sean Pike (宇宙航空研究開発機構), 池田 思朗, 森井 幹雄 (統計数理研究所)

セイファート銀河の活動的中心核は、代表的な X 線源である。巨大ブラックホールに物質が落ち込む際、降着円盤中で重力エネルギーが解放され、その一部が X 線として放射される。X 線観測によってブラックホール周辺の幾何学や物理状態に制限を付けられることは、現在の X 線天文学の主要テーマの一つである。しかし、現時点では複数の相容れないスペクトルモデルが並存し、ブラックホール周辺がいったいどうなっているのか、大きな論争が続いている。たとえば、X 線スペクトル中に普遍的に観測される「広がったように見える鉄 K 輝線」を、ブラックホール極近傍の重力赤方偏移によるものとして説明するモデルと、遠方の吸収体による部分吸収によるものとするモデルがあり、物理的描像は全く異なるにもかかわらず、どちらのモデルでも観測誤差の範囲でデータを説明することができる。

そこで、私たちは、モデルを仮定せずに、X 線エネルギースペクトルの時間変動の特徴から、X 線放射機構に制限を与えることを試みている。観測された活動的銀河中心核の X 線スペクトル変動を、エネルギーと時間の軸を持つ二次元行列で表現することができる。この二次元行列に対し、データサイエンスの分野で広く用いられている主成分解析 (PCA)、独立成分解析 (ICA)、非負値行列因子分解 (NMF) などの手法を適用し、複数の行列に分解する。それによって、X 線エネルギースペクトルの時間変動の様子を特徴付けることができる。たとえば、観測されたスペクトル変動が、変動しない複数のスペクトル成分の和で表される場合と、変動しない成分と光学的厚みが変動する吸収成分の積で表される場合を、モデルを仮定せずに判別することができる。本講演では、これらの手法の有効性の比較と、シミュレーションデータおよび実データに対して適用した結果を報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Z120a 大規模数値計算による宇宙大規模構造の情報伝播構造の定量的理解

西道啓博 (東京大学カブリ数物連携宇宙研究機構, CREST), 樽家篤史 (京都大学基礎物理学研究所), Francis Bernardeau (パリ天体物理学研究所)

大規模な観測計画を背景に、宇宙大規模構造を用いた観測的宇宙論の研究は近年ビッグデータサイエンスとしての側面が色濃くなってきている。銀河の大域的空間分布パターンや、弱い重力レンズ効果を通して明らかになる物質 (見えない「暗黒」物質を主成分とする) の2次元投影地図からくまなく情報を引き出し、宇宙模型を特徴付ける少数の宇宙論パラメタを制限することが一つの重要なゴールとなる。

我々は、この問題を多次元 (典型的には6次元以上) 宇宙論パラメタ空間上の順問題と捉え、空間の各点で素早く正確な理論予言を与える手法を模索している。本講演では、宇宙論パラメタから比較的すぐに計算できる線形パワースペクトルをインプット、重力により非線形進化を遂げた後の現在の揺らぎを特徴付ける最も基本的な量である非線形パワースペクトルをアウトプットと捉え、これらの間の写像を汎関数微分の言葉で理解することを試みる。この微分量は物理的には異なるスケールの揺らぎの間のモード結合の構造を表す一方で、情報という観点からは宇宙初期の揺らぎが持つ情報がどのように伝播するのかを表している。

我々は1000回以上にも上る中規模数値シミュレーションを用いることでこの応答関数の詳細な構造を初めて定量的に評価することに成功した。その結果は、大スケールの揺らぎは小スケールの複雑な物理過程の詳細に依らないことを示しており、進行中、計画中の大規模観測からロバストにピュアな宇宙論的情報を引き出すことを保証するものである。また、決定した応答関数を用いることで極めて広範囲の宇宙論パラメタ空間において統計量を自然に補間できることを数値的に示す。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Z121a 深層学習を用いたリアルタイム太陽フレア予測

羽田裕子, 浅井歩, 柴田一成 (京大理), 根本茂 (京大宇宙ユニット), 村主崇行 (理研)

我々は、自動化された宇宙天気予報を提供するためのソフトウェアプラットフォーム UFCORIN (Universal Forecast Constructor by Optimized Regression of INputs) を開発し、それを用いて 12 分おきに将来 24 時間以内の太陽フレアのリアルタイム予報を配信している。学習アルゴリズムには、数百万次元といった膨大な特徴量を扱える点、また、次々にやってくるデータから漸近的に学習できる「オンライン学習」の能力を持つ点から、深層学習の一種である Long-Short Term Memory (LSTM) を利用している。

これまでの研究では、2011-2014 年の 4 年間の期間において、GOES データの過去データおよび SDO/HMI による太陽面視線垂直磁場画像データをもとに、X 線フラックスの将来一定期間における最大値を予測する模擬実験を行った。予測性能の評価には Bloomfield et. al(2012) の提案にしたがい TSS (True Skill Statistics) を用いた。機械学習のパラメータなどを変え、360 通りの予報戦略を試した。その中で、X、M、C クラスフレアに対する最善の予報戦略の TSS は、0.74, 0.67, 0.64 であった。これは以前の SVM を用い、2011-2012 年の 2 年間のデータを用いた模擬予測の TSS: 0.75 ± 0.07 , 0.48 ± 0.02 , および 0.56 ± 0.04 とくらべて向上が見られた。

ところが、この最善の予報戦略を 2015 年 8 月よりリアルタイム予報に適用したところ、M クラス、および C クラスフレア予報の TSS は 0.246, 0.301 にすぎなかった。X クラスフレアは期間内に発生しなかった。過去のデータに対する予報実験に最適化された予報が、リアルタイム予測で同様の良い成績を示すとは限らない、ということが実験事実として始めて示された。このことは、今後のフレア予測に大きな課題を与えるものである。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

【Z2. 重力波初検出の意義と重力波天文学の幕開け】

9月15日(木) 午前(09:30-11:30) [J会場]

Z201r	09:30	GW150914 の観測・(20) 伊藤洋介(東京大学)
Z202a	09:50	初代星連星起源の連星ブラックホール重力波・(9) 衣川智弥(東京大学)
Z203a	09:59	eLISA による GW150914 類似連星ブラックホールの検出可能性・(9) 久徳浩太郎(理化学研究所)
Z204a	10:08	スピンパラメータによる BH 連星形成シナリオの制限・(9) 高橋亘(東京大学)
Z205a	10:17	Hilbert-Huang 変換を用いた GW150914 の解析・(9) 酒井一樹(長岡技術科学大学)
Z206a	10:26	iKAGRA データ解析: 連星合体重力波パラメータ推定・(9) 成川達也(大阪市立大学)
Z207r	10:35	重力波シミュレーション・(15) 木内建太(京都大学)
Z208a	10:50	ブラックホール準固有振動と重力波・(9) 中野寛之(京都大学)
Z209a	10:59	ブラックホール地平面近傍における 2 次の計量摂動に対する境界条件・(9) 山田慧生(京都大学)
Z210a	11:08	孤立した BH の質量, 自転角運動量と自転軸の見込み角を測定する方法: Kerr BH の重力レンズ効果・(9) 齋田浩見(大同大学)
Z211a	11:17	超大質量星の重力崩壊によるブラックホール形成に伴う重力波・(9) 関口雄一郎(東邦大学)

9月15日(木) 午後(13:30-15:32) [J会場]

Z212a	13:30	巨大ブラックホール起源と重力波観測・(15) 梅村雅之(筑波大学)
Z213a	13:45	星団内で形成したブラックホール連星による重力波放出のイベントレート・(9) 藤井通子(東京大学)
Z214a	13:54	重力波観測による巨大ブラックホール形成シナリオ解明の可能性・(9) 真貝寿明(大阪工業大学)
Z215a	14:03	銀河の金属量進化を考慮した連星ブラックホール合体からの背景重力波・(9) 中里健一郎(九州大学)
Z216a	14:12	銀河形成と超大質量ブラックホールからの重力波・(9) 長島雅裕(文教大学)
Z217r	14:21	重力波イベントに対するフォローアップ観測の可能性について・(20) 中村卓史(京都大学)
Z218a	14:41	ブラックホール中性子星連星合体からの Kilonova/Macronova・(9) 川口恭平(京都大学)
Z219a	14:50	J-GEM による LIGO 重力波源に対する電磁波フォローアップ観測・(15) 諸隈智貴(東京大学)
Z220a	15:05	CALET による重力波源の電磁波対応天体の探査・(9) 坂本貴紀(青山学院大学)
Z221a	15:14	MAXI による重力波源からの X 線放射の探索・(9) 芹野素子(理化学研究所)
Z222a	15:23	Super-Kamiokande 検出器による重力波イベント GW150914 に付随するニュートリノの探索・(9) 織井安里(東京大学)
Z223b	15:32	重力波源天体の可視光分光フォローアップ観測・(3) 松林和也(京都大学)

(次頁に続く)

【Z2. 重力波初検出の意義と重力波天文学の幕開け】

9月16日（金）午前（09:30-11:38）[J会場]

Z224a	09:30	重力崩壊型超新星の時間軸天文学:マルチメッセンジャー追跡観測に向けて・(15)	固武慶（福岡大学）
Z225a	09:45	中性子星合体からの r プロセス元素放出と核崩壊加熱率・(9)	和南城伸也（上智大学）
Z226a	09:54	巨新星の X 線再放射モデル・(9)	木坂将大（青山学院大学）
Z227a	10:03	超小型衛星で探る重力波同期 X 線突発天体・(9)	澤野達哉（金沢大学）
Z228a	10:12	マグネターの巨大フレア時の重力波放出・(9)	小島康史（広島大学）
Z229a	10:21	重力波源となるブラックホールのスピン進化と BZ 機構・(9)	梅田秀之（東京大学）
Z230r	10:30	重力波望遠鏡の現状と展望・(20)	安東正樹（東京大学）
Z231a	10:50	宇宙ひも起源の重力波・(9)	黒柳幸子（名古屋大学）
Z232a	10:59	重力波源と銀河の相互相関を用いた宇宙の絶対距離測定・(9)	大栗真宗（東京大学）
Z233a	11:08	Pulsar Timing Array を用いた超低周波重力波の新しい検出手法・(9)	米丸直之（熊本大学）
Z234a	11:17	Arrival time difference between gravitational-wave and electromagnetic signals due to gravitational lensing in general relativity・(9)	高橋龍一（弘前大学）
Z235a	11:26	地上の背景重力波観測における相関ノイズのインパクト・(9)	樽家篤史（京都大学）

Z201r GW150914の観測

伊藤洋介（東京大学大学院理学系研究科附属ビッグバン宇宙国際研究センター）

2015年9月14日、advanced LIGOは重力波の直接検出に成功した。GW150914と呼ばれるそのイベントは、太陽質量の36倍および29倍の2つのブラックホールからなる連星系が合体し、3倍の太陽質量に対応するほどの質量エネルギーが重力波として放出されたことによるものと考えられる。おそらくこのような現象は宇宙では稀ではなく、今後重力波によって、ブラックホール時空の性質、中性子星などの超高密度天体の物性、超新星爆発の機構、さらには一般相対性理論の検証など、現在のところ全く未知の物理について研究が進んでいくと考えられる。重力波による天文学が創成される。日本も重力波の国際検出網に加わるべく重力波検出器KAGRAをアップグレード中である。

本講演ではまず重力波とは何かについて説明し、またその検出原理について簡単に解説する。その後、advanced LIGOが重力波を直接検出した経緯、解析手法、速報システムが果たした役割、電磁波観測網との関係、検出した天体などについて概観する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Z202a 初代星連星起源の連星ブラックホール重力波

衣川智弥 (東京大学宇宙線研究所)

2015年9月14日、アメリカの重力波観測器 advanced LIGO は世界で初めて重力波 (GW150914) の直接観測に成功した。日本でも重力波観測器 KAGRA がテスト稼働を終え、本格的な観測に向け動き出している。今はまさに重力波天文学の黎明期に位置している。重力波観測のメインターゲットはコンパクト連星の合体である。コンパクト連星は重力波放出により軌道が縮まり、いずれ合体する。重力波によるエネルギー放出は弱いため、合体までのタイムスケールは数億年から宇宙年齢以上と非常に長い。したがって、宇宙初期にできたコンパクト連星でも現在で合体するものがあるはずである。そこで我々は宇宙最初の星である初代星に注目し、重力波源として研究を行ってきた。その結果、初代星起源の連星は典型的に約 30 太陽質量程度の連星ブラックホールになることを 2014 年に示した。一方で従来観測されてきた X 線連星内にあるブラックホール候補天体は 10 太陽質量程度であり、そのような重いブラックホールはほとんど存在しないだろうと思われていた。しかし、LIGO による重力波の初検出はまさに約 30 太陽質量の重い連星ブラックホールの合体によるものであった。そのため、LIGO グループの論文では詳細に「驚くべき事に GW150914 は衣川らの予言の質量とぴったりと一致している。」と数度にわたり引用されている。これにより、宇宙には従来考えられていなかった重い連星ブラックホールが多く存在することが示唆されており、それらは宇宙初期にできたものかもしれない。本発表では、初代星起源の連星ブラックホールの特徴や advanced LIGO や KAGRA での検出率及び将来計画である preDECIGO や DECIGO での検出可能性についても述べる。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Z203a eLISA による GW150914 類似連星ブラックホールの検出可能性

久徳浩太郎, 瀬戸直樹

ブラックホール同士の連星は、合体直前に Advanced LIGO や KAGRA などの地上重力波検出器で観測されるのみならず、合体までまだ時間がある段階でも eLISA のような宇宙重力波検出器であれば 1–100mHz 程度の低振動数領域で観測できる。特に 30 太陽質量というブラックホールの大質量や、Gpc 立方あたり一年 100 回程度にも迫る高い合体頻度など、GW150914 及び Advanced LIGO の O1 による推定は、銀河系外の連星ブラックホールが数多く eLISA で観測できるかもしれないことを示唆している。低振動数領域での重力波観測は、連星の軌道離心率を測るために有効であり、連星ブラックホールの形成機構を探るための鍵となるかもしれない。今回我々は、eLISA による GW150914 に類似のイベントの検出可能性を、特に検出される連星ブラックホールの振動数分布に注目して検討した。その結果、感度デザインによって観測期間中に 10 個から 1000 個程度の連星ブラックホールが検出されうること、一方でその多くは eLISA の観測期間内に合体にまで至り地上で同時観測できるものではないことを発見したので、それを報告する。また、諸量の簡便な見積もりやパラメータ依存性の理解のために、単色波近似が広い範囲の振動数で有用であることも見出したので、合わせて報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Z204a スピンパラメータによるBH連星形成シナリオの制限

高橋亘, 梅田秀之, 吉田敬 (東京大学天文学教室)

2015年9月に検出された重力波によって実在が証明された恒星質量ブラックホール(BH)連星だが、その形成過程にはいくつかのシナリオが提案されている。もともと独立して形成したふたつのBHが、高密度の星団中で連星系を形成したとする仮説(ここでは星団シナリオとよぶ)、連星系のなかでふたつの大質量星がそれぞれBHを形成したとする仮説(連星シナリオ)、また最近提案された、近接連星系で高速自転するふたつの大質量星が一様化学進化(Chemically Homogeneous Evolution, CHE)するという仮説(2CHEシナリオ)などである。いずれのシナリオが適当なのか興味があるが、観測的な区別を行うためのアイデアは知られていない。

本研究では合体前BHのスピンの制限可能なパラメータであり、実際初検出された重力波では、スピンの揃っていないとして $a_1 < 0.7$ 、ふたつのBHのスピンの揃っている場合 $a_1 < 0.2$ および $a_2 < 0.3$ との制限がなされた。我々は自転の効果および伴星による潮汐力加速の効果を考慮した恒星進化コードを用いて、星団シナリオ、連星シナリオ、2CHEシナリオのそれぞれに対応する大質量星・ヘリウム星の進化計算を行い、それぞれのシナリオから想定される合体前BHの自転速度を推定した。計算の結果、潮汐力による加速が、加速効率が連星間の距離および恒星半径に依存するために、恒星金属量に大きく影響されると判明した。一方でその最大効率が比較的簡単な式で表され、連星シナリオでは高速自転するBH連星を形成しづらいことが判明した。提案されているシナリオのうち、高速回転するBHが期待できるのは2CHEモデルである。合体前BHのスピンは、BH連星形成シナリオに制限を与え、ひいては恒星進化・BH形成理論に大きな示唆を与えうる重要な観測量である。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

Z205a **Hilbert-Huang 変換を用いた GW150914 の解析**

酒井一樹, 高橋弘毅 (長岡技術科学大学), 大原謙一 (新潟大学), 金山雅人 (大阪市立大学)

2015年9月14日, アメリカのLIGOグループが重力波の初検出に成功し, この重力波イベントはGW150914と名付けられた. LIGOグループによる観測データの解析の結果, GW150914はブラックホール連星合体による重力波だということがわかり, 地球からの距離や連星の質量, さらには合体後に形成されたブラックホールの質量などが推定されている. ブラックホール連星合体からの重力波のリングダウンの部分は, 合体後形成されたブラックホールの準固有振動によって放射された重力波であり, この準固有振動を調べることで, 電波観測では行えなかった強い重力場での一般相対性理論の検証などが可能になる. 今後, 日本のKAGRAグループやヨーロッパのVirgoグループが国際重力波観測ネットワークに参加していき, 本格的な重力波天文学の時代が始まっていくことで, これらの解析が進められていくだろう. 我々はGW150914の実データに対して高解像度の時間-周波数解析手法であるHilbert-Huang変換(HHT)を適応し, 観測された重力波の周波数成分の時間発展を詳細に解析した. 本講演では, GW150914の特にリングダウン部分に注目してHHTで解析した結果を報告する.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Z206a **iKAGRA データ解析：連星合体重力波パラメータ推定**

成川達也, KAGRA Collaboration

岐阜県神岡市に建設されたレーザー干渉計型重力波検出器 KAGRA は 2016 年 3 月から 4 月にかけて、初めての観測運転を行った。この観測は iKAGRA と呼ばれている。本講演では、iKAGRA データ解析におけるコンパクト連星合体重力波のパラメータ推定について報告する。iKAGRA 観測では、オフライン探索によって重力波イベント候補が得られた。また、エンドミラーを動かすことによって iKAGRA データに重力波信号を埋め込むハードウェア・インジェクションを行った。これらのインジェクションイベントに対してマルコフ連鎖モンテカルロ法に基づいたパラメータ推定を行い、連星パラメータを推定した。その結果に基づき数年後に計画されている本格観測 bKAGRA 観測でのパラメータ推定の準備状況を示す。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Z207r 重力波シミュレーション

木内建太 (京都大学基礎物理学研究所)

2015年9月14日 Advanced LIGO が連星ブラックホール合体からの重力波を直接検出した。この観測の成功は重力波天文学開闢を意味する。連星ブラックホール合体の他に連星中性子星合体およびブラックホール 中性子星連星合体も有望な重力波源の一つである。現在の Advanced LIGO の観測感度は目標感度の3分の1程度であることや KAGRA、Advanced VIRGO といった他の重力波観測器も本格観測を間近に控えていることから、近い将来連星中性子星 / ブラックホール 中性子星からの重力波が直接観測される可能性は高い。少なくとも中性子星を一つ含む連星合体からの重力波直接検出は、中性子星物質の真の状態方程式の探求、速い中性子捕獲反応による重元素合成の解明、ショートガンマ線バーストやマクロノバに代表される電磁波対応天体の探求といった事柄に動機付けられている。特に先の連星ブラックホール合体からの重力波直接検出で実証された通り、数値相対論シミュレーションによる理論波形の導出が必要不可欠である。そこで本講演では中性子星やブラックホールを含むコンパクト連星合体の数値相対論シミュレーションについてレビューする予定である。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Z208a ブラックホール準固有振動と重力波

中野寛之（京都大学）、中村卓史（京都大学）、田中貴浩（京都大学）、佐合紀親（九州大学）

重力波天文学を確固たるものとするために欠かせないものは、一般相対論の検証である。今年2月に発表された重力波イベント GW150914 は、連星ブラックホール合体からの重力波であると考えられている。その重力波波形は、重力波を放出しながら連星間距離を縮めていく際のインスパイラル波形、連星がアインシュタイン方程式に従い合体していく際のマージャー波形、最後に一つのブラックホールに落ち着く際に放出されるリングダウン波形からなり、全体を通しての信号雑音強度比（SNR）は24であった。リングダウン部分にのみ注目するとSNR<7であった。このリングダウン部分のSNRの低さのために、現段階では、リングダウン部分のみの解析からは、最終的にできた天体が一般相対論におけるブラックホールと無矛盾であるという結論だけが得られている状況である。

リングダウン重力波は、一般相対論においてブラックホールの質量・スピんで特徴づけられる準固有振動モードによって記述される。本講演では、この重力波波形に注目することにより、どの時空部分からリングダウン重力波は放出されたと考えられるのかを議論する。

今後、重力波検出器の感度が向上し、重力波イベントのSNRが良くなることによって、一般相対論（におけるブラックホール）が検証（もしくは否定）され、次の段階として、ブラックホールのマージャーヒストリー等を議論することができるようになるであろう。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Z209a ブラックホール地平面近傍における 2 次の計量摂動に対する境界条件

山田慧生, 田中貴浩 (京都大学), Adam Pound (University of Southampton), 磯山総一郎 (University of Guelph)

Advanced LIGO による重力波の初検出を皮切りに、重力波天文学の幕開けが目前に迫っている。本研究では、特に、eLISA の観測対象の一つである EMRI (Extreme Mass-Ratio Inspiral) に注目する。

EMRI として、質量 M の銀河中心の巨大ブラックホール (SMBH) 周りを運動する質量 μ のコンパクト天体 (衛星) の系が考えられる。このような連星系はブラックホール摂動 (BHP) 法を用いた質量比 ($\varepsilon \equiv \mu/M \ll 1$) の展開によって解析的に調べることができる。しかし、この系から重力波の理論波形を作成するために、長期間にわたり衛星の軌道を精密に議論するには ε の 1 次までの展開では不十分である。このことは、展開の 1 次において、軌道運動による重力波放出に伴って系のエネルギーと角運動量が運び去られているにも関わらず、衛星の軌道は常に SMBH の作る背景時空での測地線に沿っていることによる。

摂動の 2 次を考慮して衛星の軌道運動を議論するには、放出される重力波について、遠方と SMBH の地平面近傍での適切な境界条件が必要となる。遠方における議論では、post-Newton 展開を用いた解を用いることができ、すでに調べられている。一方、地平面近傍での議論は Schwarzschild 時空に対してさえ未だ不十分である。

我々はブラックホールの地平面近傍における境界条件を求めることを目的とし、BHP 法を用いて Schwarzschild 計量に対する摂動を ε の 2 次まで考慮することで地平面近傍における摂動の振る舞いを調べる。また、Kerr 時空への拡張も議論する予定である。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Z210a 孤立したBHの質量，自転角運動量と自転軸の見込み角を測定する方法： Kerr BHの重力レンズ効果

齋田浩見（大同大学）

一般相対論によれば，定常なブラックホール（Kerr BH）を特徴づけるパラメータは，BHの質量 M と自転角運動量 a の2つだけである。このBHパラメータ (M, a) の値を一般相対論的な現象の測定から決めることが『BH直接検出』だと言ってよいだろう。この意味で，重力波観測で (M, a) の値を決めることは，BH直接検出である。重力波では，準固有振動モードの減衰率や周期から (M, a) の値を決めることができる。

ところで，準固有振動の方法とは独立な別の (M, a) の測定方法あるいは電磁波観測による (M, a) の測定方法があれば，それらの方法での測定結果と重力波の準固有振動の方法での測定結果でクロスチェックができるので，BHパラメータ (M, a) の測定値の信頼度向上に役立つかもしれない。

本研究は，孤立したBHの近傍で小さな放射源が等方的に放射を出す状況設定で，準固有振動でなくBH重力レンズ効果からBHパラメータ (M, a) とBH自転軸の見込み角 $(\theta_{\text{obs}}, \varphi_{\text{obs}})$ を測定する方法を考案する。なお，本研究では電磁波を想定するが，原理的には重力波にも適用できる（Maxwell方程式を使わない）方法である。

この状況で幾何光学近似が有効だとし，放射に作用するBH重力レンズ効果をヌル測地線とその偏差方程式を解くことで調べる。特に，放射源から最短経路を通して観測者に届く放射 W_0 と，BHを一周巡ってから観測者に届く放射 W_1 に注目する。そして，観測量として， W_0 と W_1 の検出時間の差 Δt_{obs} と検出強度の比 \mathcal{R}_{obs} を計算する。この観測量 $(\Delta t_{\text{obs}}, \mathcal{R}_{\text{obs}})$ からBHパラメータ (M, a) と見込み角 $(\theta_{\text{obs}}, \varphi_{\text{obs}})$ を測定する方法を考案し，その数値計算結果を報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Z211a 超大質量星の重力崩壊によるブラックホール形成に伴う重力波

関口雄一郎, 柴田大 (京都大学基礎物理学研究所), 打田晴輝 (京都大学), 梅田秀之 (東京大学)

銀河中心に存在する超大質量ブラックホールの起源と形成メカニズムは未解明の重要問題である。超大質量星の重力崩壊による種ブラックホールの形成と、その後の質量降着による進化は、超大質量ブラックホール形成シナリオ (重力崩壊シナリオ) の有力候補の一つである。本研究では、この重力崩壊シナリオについて、ブラックホール形成に伴って放射される重力波の観測による制限可能性について調べた。

宇宙初期に形成される超大質量星は、高速回転していると考えられるため、ケプラー回転する太陽の 630000 倍の質量を持つ超大質量星を初期条件とし、それがブラックホールへと崩壊する過程の数値相対シミュレーションを行い、ブラックホール形成に伴い放射される重力波波形を計算した。その結果、赤方偏移 $z=3$ のイベントの場合、周波数 5mHz における重力波振幅が 10^{-21} 程度であることを明らかにした。このオーダーの重力波振幅は、将来計画 LISA による観測が可能である。

もしこの様な重力波が観測されれば、重力崩壊シナリオの証拠となる。すなわち、重力波観測は銀河中心に存在する超巨大ブラックホールの形成メカニズムに関する有力な検証手段の一つとなり得る。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Z212a 巨大ブラックホール起源と重力波観測

梅村 雅之 (筑波大学 計算科学研究センター)

昨年9月, Advanced LIGO によって, 重力波 (GW150914) が歴史上初めて直接検出された。この観測は, 重い星質量ブラックホール ($\sim 30M_{\odot}$) が重力波によって合体することを初めて確認したものである。本講演では, 巨大ブラックホール起源の観点から, この重力波観測の意義を考察する。銀河 (バルジ) 中心には, 超巨大ブラックホール (SMBH) が存在し, その質量は銀河 (バルジ) 質量の約 1000 分の 1 になっているという謎の関係が成り立っているが, その起源は分かっていない。SMBH の起源については, 種となったのは星質量ブラックホール (数 $\sim 10M_{\odot}$) だったのか大質量ブラックホール (数万 \sim 数 10 万 M_{\odot}) だったのか, また成長は質量降着で起きたのか合体によるものなのか, という疑問がある。マーティン・リースは, いわゆる Rees Diagram (1984) を提示し, 巨大ブラックホールを作るメカニズムとして, 合体による形成と超大質量星の重力崩壊を考察した。Rees Diagram を現代の宇宙論に照らして書き換えると, 出発点は Pop III 天体になる。Pop III 星は, 重元素がないため星風による質量損失質量が小さく, 数 $10M_{\odot}$ のブラックホールを残すことが可能である。今回, 重力波による $30M_{\odot}$ ブラックホールの合体が直接観測されたことで, 巨大ブラックホール形成に星質量ブラックホールの合体が関係した可能性が高まった。Pop III 星の質量損失は, 太陽組成の星より小さいとは言っても, 数 10% を損失する可能性がある。この場合, 近接連星を維持するのは難しい。我々は, 最初に連星系を考えなくても, Pop III 星形成の高密度ガスの力学効果によって, 合体が起こりうることを見出している。今後, 重力波観測が進めば, 高密度ガスに埋もれ, 光では観測できないようなブラックホール合体の証拠が得られる可能性がある。このような可能性も含め, 巨大ブラックホール起源の解明に向けた重力波天文学への期待について講演する。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

Z213a 星団内で形成したブラックホール連星による重力波放出のイベントレート

藤井通子, 谷川衝 (東京大学), 牧野淳一郎 (神戸大学, 理研)

Advanced LIGO によって初めて検出された重力波は合体するブラックホール連星からのものであった。さらに、このブラックホール連星の質量は、 $36M_{\odot}$ と $29M_{\odot}$ と、これまでに確認されていたものより重い恒星質量ブラックホールであった。この結果は、今後 $10M_{\odot}$ を超えるブラックホールが重力波観測によって次々と検出される可能性を示唆している。

ブラックホール連星の主な形成チャンネルとしては、1. 大質量星連星が common envelope を経てブラックホール連星となる場合と、2. 球状星団のような高密度の星団で形成したブラックホールが星団の中心で3体相互作用の結果として形成する場合の2つが考えられている。本研究では、球状星団のN体シミュレーションの結果を元に星団内でのブラックホール連星の合体履歴をモデル化した Tanikawa (2013) の結果と、宇宙の星形成史を元にした宇宙の星団形成史を合わせて、星団内で形成したブラックホール連星による重力波放出の頻度、連星質量関数、その観測可能性について調べた。

本研究から、星団内の3体相互作用によって形成したブラックホール連星が観測されるイベントレートは、現在の advanced LIGO で年 0.69–6.9 と見積もられ、その質量関数は、初期質量関数起源の軽いブラックホール連星のピークと、星団内での3体相互作用起源の重いブラックホール連星のピークの2つのピークを持つと予想される。これは、星団内の3体相互作用によって重いブラックホール連星が卓越することと、重い連星ほど遠くまで観測できることによる。今後、数多くのブラックホール連星が重力波観測によって見つかり、ブラックホール連星の質量関数が得られることで、ブラックホール連星の形成チャンネルが明らかになっていくことが期待される。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Z214a 重力波観測による巨大ブラックホール形成シナリオ解明の可能性

真貝寿明（大阪工大），神田展行（大阪市大），戎崎俊一（理化学研究所）

超巨大ブラックホール (SMBH) の形成過程はまだ合意が得られていない問題である。N 体シミュレーションの結果からは、中間質量 BH の形成を経て、ボトムアップ的に形成されたシナリオが支持されている。以前、我々は、宇宙空間における DECIGO などの低周波数帯での重力波観測によって、BH 合体の数統計から、SMBH 形成がヒエラルキー的な合体によるのかあるいはランナウェイ的な合体によるかの区別が可能であることを提案した [1]。今回は、KAGRA や Einstein Telescope を用いた低周波数帯、および宇宙空間での重力波検出に於いてこのようなシナリオがどれだけ区別できるのかをより詳細に検討した。

KAGRA は地面振動が抑えられている環境にあるため、10Hz 付近の重力波の検出も期待される。BH 合体のリングダウン部分に注目すれば（BH のスピンの大きさにもよるが） $2500M_{\odot}$ 以下程度の BH の存在が確認できることになる。そこで、BH の数分布の関数形を Press-Schechter 的に、 $N(M) \sim M^{\beta}$ と仮定し（ $\beta = -1$ がヒエラルキー的なモデルに相当）、銀河の数分布を Vale-Ostriker (2006) によるハロー分布に z 依存性をもたせたものから推定し、KAGRA の予定する感度での BH 合体の観測可能領域を元に、イベント検出率と β の判別可能性を調べた。preliminary な結果としては、リングダウンの S/N が 100(30) のイベントが 10 (100) 程度検出されれば、 β の判別が可能になることを得ている。

[1] Matsubayashi, T., Shinkai, H., & Ebisuzaki, T., ApJ 614, 864 (2004)

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Z215a 銀河の金属量進化を考慮した連星ブラックホール合体からの背景重力波

中里健一郎 (九州大学), 新納悠 (国立天文台), 佐合紀親 (九州大学)

重力波 GW150914 で観測されたような $30M_{\odot}$ 程度の質量を持つブラックホールは低金属量の環境で形成されることが考えられている。LIGO グループによる論文 (Abbott et al. 2016, PRL, 116, 131102) ではブラックホールを形成する critical な金属量を $0.5Z_{\odot}$ と仮定し (Z_{\odot} は solar metallicity), 宇宙の金属量進化を考えることで、連星ブラックホール合体率の redshift 依存性や背景重力波のエネルギー密度を見積もっている。このとき、彼らの研究では、宇宙全体を one zone とみなして平均金属量を見積もり、そこからの dispersion を仮定することでブラックホールの形成率を求めている。しかし、ブラックホール形成は短寿命の大質量星の死に付随すると考えられるため、実際に星形成が起こっている領域 (銀河) における金属量を考慮する必要がある。

そこで、本研究では銀河の星形成率や金属量の進化に関する観測を考慮したブラックホールの形成率および連星をなしたときの合体率から、背景重力波のエネルギー密度を見積もった。その結果、近傍宇宙での連星ブラックホール合体率で規格化した背景重力波のエネルギー密度は、ブラックホールを形成する critical な金属量に依存しないことがわかった。これは、metal rich となった銀河では星形成が抑制され、結果として全体の星形成に占めるある critical な金属量以下の星の割合は redshift にあまり依存しないからである。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Z216a 銀河形成と超大質量ブラックホールからの重力波

榎 基宏 (東京経済大学), 長島 雅裕 (文教大学)

多くの銀河の中心に超大質量ブラックホール (SMBH) が存在し、その SMBH の質量と母銀河のバルジ成分の質量などの物理量との間に相関があることが観測的に知られている。このことは、銀河の形成過程と SMBH の形成過程が密接に関係していることを示唆する。

宇宙論的な構造形成の標準理論である「冷たい暗黒物質 (CDM) モデル」は、銀河は合体を繰り返して成長するという階層的構造形成を预言する。この枠組みでは、銀河同士が合体する際、個々の銀河に存在する SMBH は合体後の銀河中心に沈み込んで連星となり、最終的に重力波を放出して合体することを繰り返して成長すると考えられている。

SMBH の成長過程としては、SMBH 同士の合体だけでなく、母銀河からのガスの降積も重要である。このガスは星形成の材料でもあるため、SMBH に降積するガスの量は母銀河の星形成過程に左右される。それ故、SMBH 合体時に発生する重力波も銀河の形成過程と関係することになる。

以上より、SMBH からの重力波を観測することは、電磁波観測だけでは分からない銀河形成の一面を知ることにつながる。そこで我々は、CDM モデルに基づいて構築した準解析的銀河形成モデルを用いて、SMBH からの重力波についての研究を行ってきた。これにより、観測される重力波の統計量と、すばる望遠鏡などで進められている銀河の大規模サーベイから得られる SMBH の質量関数などの銀河の統計的観測量との関係について予測することが可能になった。本講演では、SMBH 合体に伴って発生する重力波の観測から、銀河の形成過程についてのどのような知見が得られうるのかを紹介する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Z217r 重力波イベントに対するフォローアップ観測の可能性について

中村卓史 (京都大学)

a-LIGO は 2015 年 9 月から 2016 年 1 月にかけて 4 ヶ月間運転したが、現時点 (2016 年 5 月 31 日) では、データを全ては公開はしていない模様である。従って、秋の学会時には事情が変わっているかもしれない。だから、講演内容が変わるかもしれない事を念頭に以下を読みたい。Fermi/GBM がブラックホール連星 GW150914 の合体に付随する SGRB (Short Gamma Ray Burst) らしきガンマ線を検出したが、軌道が地球から 12 万 km にあった INTEGRAL は何も観測していない。この矛盾する観測事実について議論が盛んに行われているが、GBM の観測がもし本当なら、初めての重力波イベントに対するフォローアップ観測になるので、その詳しい内容を様々な観点から議論する。次に、GW150914 の起源の問題とそれを結着させるには何を調べれば良いかを議論する。最後に重力波源の最有力候補であった、連星中性子星とブラックホール-中性子星の合体について議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Z218a ブラックホール中性子星連星合体からの Kilonova/Macronova

川口恭平（京都大学）、久徳浩太郎（理研）、田中雅臣（国立天文台）、柴田大（京都大学）

ブラックホール中性子星連星合体は有望な重力波源として地上重力波干渉計のメインターゲットのひとつとされており、今後数年以内にはその重力波が検出されると期待されている。また、ブラックホール中性子星連星は中性子星を含む事から、多様な突発的電磁波対応天体の源となるとも考えられている。ブラックホール中性子星連星合体の電磁波対応天体として注目されているものに Kilonova/Macronova という可視光から近赤外領域で明るく光る突発天体が理論的に考えられてきた。これは連星合体時に中性子過剰物質が放出され、その内部で合成される放射性重元素の崩壊熱によって光る現象である。Kilonova/Macronova は合体後数日から十数日の時間スケールで準等方的に光ると考えられ、連星合体の電磁波対応天体として観測的に有望視されている。近年の数値相対論シミュレーションと輻射輸送シミュレーションにより、Kilonova/Macronova の光度曲線の理論的予測が行われ、その理解が進んでいる。一方、Kilonova/Macronova の光度曲線は放出される物質の形状、質量、速度分布を通して連星合体のパラメータ、連星の質量やスピン、中性子星の半径に依存するが、広い連星合体のパラメータに対する Kilonova/Macronova までの一貫した系統的依存性についての理解は十分ではなかった。そこで本研究では最新のブラックホール中性子星連星合体の数値相対論シミュレーションを元に、放出される物質の性質の連星合体のパラメータ依存性をフィティングモデルを構築した。これと先行研究の輻射輸送計算による光度曲線をよく再現する Kilonova/Macronova の光度曲線モデルと組み合わせ、Kilonova/Macronova の光度曲線の連星合体のパラメータに対する系統的依存性を明らかにした。本講演ではこのモデルが与える Kilonova/Macronova 観測戦略への示唆や、Kilonova/Macronova 観測からのパラメータ制限可能性について議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Z219a J-GEM による LIGO 重力波源に対する電磁波フォローアップ観測

諸隈智貴 (東京大学), 田中雅臣 (国立天文台), 朝倉悠一郎, 阿部文雄 (名古屋大学), Paul Tristram (Mt. John 天文台), 内海洋輔 (広島大学), 土居守, 本原顕太郎, 田村陽一, 酒向重行, 大澤亮 (東京大学), 藤沢健太 (山口大学), 伊藤亮介, 植村誠, 川端弘治, 吉田道利 (広島大学), 伊藤洋一 (兵庫県立大学), 河合誠之, 斉藤嘉彦, 谷津陽一 (東京工業大学), 黒田大介, 柳澤顕史 (国立天文台), 松林和也, 太田耕司 (京都大学), 村田勝寛 (名古屋大学), 永山貴宏 (鹿児島大学), 富永望 (甲南大学)

Advanced LIGO での重力波観測の開始にあたり, 我々は, 日本国内の大学・研究機関の持つ国内外の望遠鏡を用いた重力波電磁波対応天体同定のための枠組 Japanese collaboration for Gravitational wave ElectroMagnetic follow-up (J-GEM) を組織した. J-GEM の望遠鏡群は, 光学赤外線望遠鏡と電波望遠鏡からなり, 日本国内のみならず, ニュージーランド, 中国・チベット, 南アフリカ, チリ, 米国・ハワイと南北半球を含む多経度にわたっている. 2014 年には, 重力波検出のアラートを受けてフォローアップ観測を行うための MoU を LIGO-Virgo collaboration と交わした. 2015 年 9 月から開始された Advanced LIGO 観測ラン (O1) では, GW150914 を含む重力波アラートに対して光学赤外線望遠鏡を用いて観測を行った. 度スケールの広視野カメラを持つすばる望遠鏡 Hyper Suprime-Cam, 木曾シュミット望遠鏡 KWFC, MOA-II 望遠鏡では高確率領域における広視野ブラインドサーベイを, 他の望遠鏡では領域内の近傍 ($\lesssim 100$ Mpc) 銀河に対するターゲット観測を行った. 本講演では, 重力波検出のアラートに対する J-GEM の観測方針, 対応天体同定へ向けた準備状況について報告する.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Z220a CALET による重力波源の電磁波対応天体の探査

坂本貴紀, 川久保雄太, 吉田篤正 (青山学院大学), 中平聡志 (JAXA), 浅岡陽一, 鳥居祥二, 竹本翔一, 山口優幸 (早稲田大学), 森正樹 (立命館大学), 山岡和貴 (名古屋大学) ほか CALET チーム

LIGO によって最初に検出された重力波イベント GW 150914 は重力波の存在を確かめただけでなく、数十太陽質量の連星ブラックホールが存在するという事を観測的に証明した事でも非常に画期的な発見であった。LIGO や Virgo で検出される重力波イベントと同期した電磁波対応天体をガンマ線領域で探査する事は、重力波対応天体の最有力候補であるガンマ線バーストとの関連からも重要である。

CALorimetric Electron Telescope (CALET) は 2015 年 8 月下旬に打ち上げられ、国際宇宙ステーション、日本実験棟「きぼう」の曝露部に取り付けられた、高エネルギー宇宙線やガンマ線、そしてガンマ線バーストを観測ターゲットとする新しい観測装置である。主検出器である CALorimeter (CAL) は 1 GeV から 10 TeV までのガンマ線を検出でき、それらの到来方向も決定する事ができる。また、CAL のガンマ線観測をサポートする目的で取り付けられている CALET Gamma-ray Burst Monitor (CGBM) は $\text{LaBr}_3(\text{Ce})$ と BGO という 2 種類の結晶を用いた検出器から構成されており、これらの検出器を組み合わせる事で、7 keV から 20 MeV という広いダイナミックレンジを達成し、ガンマ線バーストの検出に成功している。CALET は初期チェックアウト完了後の 2015 年 10 月初旬から定常観測を開始しており、LIGO の O1 run 中 (2015 年 10 月から 2016 年 1 月まで) は多くの時間で全ての観測機器でデータの取得を行っていた。本発表では、CALET による、重力波の電磁波対応天体の探査結果について報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Z221a MAXIによる重力波源からのX線放射の探索

芹野素子(理研), 河合誠之(東工大), 根来均(日大), ほか MAXI チーム

国際宇宙ステーションに搭載され、2-20keVに感度を持つ全天X線監視装置MAXIは、約90分ごとに全天の約85%の領域を走査観測することができる。現状では重力波イベントの到来方向を精度よく決めることが難しく、誤差領域は大きくなるが、このような場合でも、MAXIを用いて付随するX線放射を探索することが可能である。

2016年春の年会では2015年9月に重力波天文台LIGOによって検出された重力波イベントGW150914について、X線対応天体のMAXIでの探索結果を報告した。この重力波イベントに伴う3 sigma以上の有意度のX線放射は、MAXIでは観測されなかったが発生から25分後までに信頼度90%の領域(約750)平方度のうち88%以上を観測することができた。この1スキャンでのフラックスの上限は30mCrab程度であった。

2016年後半からはLIGOだけでなくVirgoも観測を開始することから2015年以上に頻繁に重力波アラートを受信することが予想される。これに備えMAXIでは、突発天体を自動的に探索し速報する既存の「新天体発見システム」に加えて、重力波イベントの広い誤差領域に対して即座に検出限界のフラックスを算出するツールを開発中である。更に、MAXIは常に全天を走査観測しているので、重力波イベントの前の時間帯や重力波イベント後長時間にわたる放射の探索も可能である。X線での重力波対応天体がどのようなタイムスケールで現れるかははっきりとした予測があるわけではなく、あらゆるタイムスケールで探索が行えるようにツールの改修が必要となる。発表では、重力波対応天体のMAXIでの探索方法について解説し、2015年の重力波イベントについての探索結果についてもまとめて報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Z222a Super-Kamiokande 検出器による重力波イベント GW150914 に付随するニュートリノの探索

織井安里 (宇宙線研究所), ほか Super-Kamiokande コラボレーション

Advanced LIGO で検出された重力波イベント GW150914 はブラックホール同士の合体によるもので、このようなイベントでは電磁波は放出されないと考えられている。しかしブラックホールの周囲に降着円盤がある場合、宇宙ジェットから高エネルギーのニュートリノが放出される可能性が議論されている。そこで Super-Kamiokande では重力波イベントに付随するニュートリノの探索を行った。

Super-Kamiokande は 50000 トンの水チェレンコフ型検出器である。観測されるニュートリノのフレーバーを決定でき、広いエネルギー領域に感度をもつ。本研究ではエネルギー 3.5MeV から 10PeV に渡るエネルギー領域において、重力波信号の前後 500 秒のニュートリノを探索した。解析の結果、およびそれから計算したフルエンズについて報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Z223b 重力波源天体の可視光分光フォローアップ観測

松林 和也、太田 耕司 (京都大学)、泉浦 秀行、神戸 栄治、岩田 生、筒井 寛典 (国立天文台)

重力波源の電磁波対応天体の同定とその電磁波での性質を調べるためには、可視光によるフォローアップ観測が欠かせない。可視光波長帯にはさまざまな原子・イオンの吸収線や輝線があり、重力波源天体の可視スペクトルから天体までの距離、運動状態、化学組成など、基本的物理量を推定できる可能性がある。我々は光ファイバーを用いた可視光面分光装置 KOOLS-IFU を使って、重力波源天体やその候補天体であるショートガンマ線バーストを、発生したその夜に分光観測を行う体制を整備しつつある。光ファイバー導入方式を採用することにより、観測装置を常駐させることができ、また観測装置を短時間で切り替え可能で、天体検出のチャンスを増やすことができることが特徴となっている。現在 KOOLS-IFU は国立天文台 岡山天体物理観測所の 188 cm 望遠鏡に接続できるようになっているが (ただし 188 cm 望遠鏡接続時は高分散分光装置 HIDES-F が接続時のみ)、将来的にはより大口径でありながら機動性の高い京大-岡山 3.8 m 望遠鏡に搭載する予定である。

KOOLS-IFU の観測可能波長は 4030–8830 Å、波長分解能は使用するグリズムによって異なり $\lambda/\Delta\lambda = 350 - 1300$ 、限界等級は 188 cm 望遠鏡で約 18.5 mag、3.8 m 望遠鏡で約 19.5 mag (条件: seeing 1.0", グリズム No. 2、30 分積分、S/N = 10) である。実際の観測例として、KOOLS-IFU を 188 cm 望遠鏡に接続し、ショートガンマ線バースト GRB160303A の分光フォローアップ観測を、発生したその晩に行うことができた。観測は京都からリモート観測で行い、使用したグリズムは No. 2、ガンマ線バースト発生 65 分後から 50 分積分したが、天体スペクトルの検出はできなかった (限界等級 ~18.8 mag)。最大光度が $r \sim 23$ mag であったとの報告があり (GCN Circular 19131)、KOOLS-IFU の結果と矛盾しない。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

Z224a 重力崩壊型超新星の時間軸天文学:マルチメッセンジャー追跡観測に向けて

固武 慶 (福岡大理), 中村航 (早大理工), 堀内俊作 (バージニア工科大), 端山和太 (東大宇宙線研), 田中雅臣 (国立天文台), 滝脇知也 (国立天文台)

(重力崩壊型) 超新星は、 10^{51} エルグという莫大なエネルギー放出や重元素の形成を通し、宇宙の化学組成進化に極めて重要な役割を果たす天体現象である。その重要性にも関わらず、過去約 50 年にわたる数値シミュレーション研究において「爆発するモデルを作れない」という大きな課題があった。しかし近年の大規模数値計算によって、この状況は大きく変わりつつある。未だ爆発のメカニズムが完全に理解されたとは言えないものの、爆発が成功か不成功かという理論的研究だけではなく、得られたシミュレーション結果を観測と直接比較し、「どのような星がどのように爆発しているのか」を定量的に検証できる新たな研究フェーズに入ってきている。このように超新星の爆発理論の観測的検証が可能になりつつある現在、超新星から放たれる電磁波だけではなく、重力波・ニュートリノを併せた「マルチメッセンジャー」を駆使して研究を展開することが必要不可欠である。重力波天文学が産声を上げ、黎明期に差ししかかろうとしている今、KAGRA では急ピッチで本格稼働へ向けた準備が進んでおり、Super-Kamiokande では大幅なアップデート・次世代器に向けた計画が進んでいる。超新星をターゲットにしたマルチメッセンジャー研究に向け、期が熟していると言える。

本講演では、鉄コアの重力崩壊からニュートリノ加熱爆発の開始に至るまでの動的進化を連続的に追った最新の超新星モデルを用い、主に銀河中心の超新星をターゲットに据えながら、フォローアップ観測を如何に行うかについてエクセサイズ形式で検討する。また時系列で得られるマルチメッセンジャーの情報を総合的に解析することで、超新星爆発の物理に如何に迫れるかについても議論したい。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Z225a 中性子星合体からのrプロセス元素放出と核崩壊加熱率

和南城伸也（上智大）、関口雄一郎（東邦大）、西村信哉（キール大）、木内建太（京大基研）、久徳浩太郎（理研）、柴田大（京大基研）

鉄より重い元素の半分（レアアース、金、ウランなど）をつくるrプロセスの研究は、元素の起源の問題だけに留まらず、コンパクト連星合体からの重力波シグナルに対応する光・赤外放射天体（rプロセス新星、キロ新星、超速新星などとよばれる）の性質を理解する上で重要な役割を果たすことが期待される。

rプロセス元素の起源は未だに明らかにされていない。従来の超新星説が様々な問題に直面しているのに対し、最新の研究により、中性子星合体がその有力な起源であることが示唆されている（Wanajo et al. 2014, Sekiguchi et al. 2015 など）。我々は、様々な中性子星の質量比や複数の高密度状態方程式について、中性子星合体からの放出物質中の元素合成計算を行った。その結果が、太陽系のみならず、金属欠乏星の観測結果もよく再現することを示す。

近い将来に中性子星合体の重力波対応天体としてのrプロセス新星が観測されるようになれば、元素の起源の問題の解明のみならず、中性子星の物理や重力波天文学にも様々な成果が期待される。そのためには、その電磁波対応天体の熱源となるrプロセス元素の核崩壊加熱率について正しく理解することが必要である。本講演では、上記の結果に基づき、その加熱率の合体回転面からの角度依存性およびベータ崩壊、アルファ崩壊、核分裂それぞれの役割と不定性について詳しく議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Z226a 巨新星の X 線再放射モデル

木坂将大 (青山学院大学), 井岡邦仁 (京都大学), Ehud Nakar (Tel Aviv Univ.)

重力波望遠鏡での直接検出が期待される天体現象の一つである中性子星連星合体後に放出される物質からの放射 (巨新星, Macronova) に対し、その放出物質の加熱源として r 過程元素の崩壊熱が主に議論されている。しかしこのモデルでは、巨新星の候補である GRB130603B, 0606014 に付随する赤外線超過成分を説明するために非常に大きな質量の物質が合体に伴って放出されることが要求されている。一方で、これらのガンマ線バーストには数日間続く X 線の超過成分も付随してあることがわかっている。

我々は、X 線の超過成分が放出物質に吸収され、その再放射が赤外線超過として検出されている可能性について調査を行った。その結果、このモデルでは比較的小さい放出物質の質量 (0.001 から 0.01 倍の太陽質量) でも観測結果を説明できる可能性があることがわかった。また、この X 線再放射モデルに基づいた重力波の電磁波対応天体の探査方法への示唆についても議論を行う。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Z227a 超小型衛星で探る重力波同期X線突発天体

澤野達哉, 米徳大輔, 吉田和輝, 加川保昭, 河合謙太郎, 伊奈正雄, 太田海一, 南雄己 (金沢大学), 池田博一, 原山淳 (ISAS/JAXA), 有元誠 (早稲田大)

Advanced LIGO による重力波 GW 150904 の直接検出は一般相対論の検証のみならず、太陽の 30 倍程度の質量をもつブラックホール連星の存在を明らかにした。今後、2018 年より KAGRA、Advanced LIGO、Advanced Virgo による重力波干渉計ネットワークが本格的に稼働し、重力波天文学としての発展が期待されている。一方で、重力波干渉計による天体の方向決定精度は典型的に数 100 平方度、3 台合わせた場合で 30 平方度と粗いために自身では母銀河を同定することができない。重力波源の母銀河を同定し、親星の周囲の環境や重力エネルギー解放から放射へ至る爆発の駆動メカニズムの解明するために、電磁波観測との同時観測が重要な役割を果たすと考えられる。我々は、X線帯域で 1 ステラジアン程度の視野を持ち 15 分角の位置決定精度で突発天体を監視する超小型衛星計画を進めている。重力波源の候補である中性子星連星の衝突合体によって同時に生じると考えられている短時間ガンマ線バーストの初期放射や付随して 100 秒程度軟 X 線帯域で輝く Extended Emission を検出、発生方向の情報を地上へ通報することで多波長追観測を促し、発生源の物理状態の解明や母銀河の同定に貢献したい。観測装置として、1 次元符号化マスクとシリコンストリップセンサーを用いた X 線撮像検出器を用い、有効面積 100 cm²、1-20 keV での観測帯域を目標としており、軟 X 線で明るい短時間ガンマ線バーストに対しては Swift/BAT よりも良い感度での観測を目指す。これを 2018 年度の打ち上げを目指して金沢大学で開発している超小型衛星 Kanazawa-SAT³ に搭載する予定である。本講演では、超小型衛星による X 線突発天体探査の科学的意義と検討中の衛星システム、検出器の構成などについて報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Z228a マグネターの巨大フレア時の重力波放出

小島康史 (広島大)

マグネターのフレアはブラックホールや中性子星からなるコンパクト連星系の合体や超新星爆発 ($\Delta E > 10^{53}$ ergs) につぐ、巨大な突発的エネルギー現象である。例えば 2004 年の SGR1806-20 のフレア時の放出エネルギーは等方的だと仮定して 10^{46} ergs 程度と見積られている。このような天体現象の観測は我々の銀河内の源に限られるが、約 10 年に一度起こる出来事 (SGR1806-20 (2004 年)、SGR1900+14 (1998 年)、SGR0526-66 (1979 年)) と考えられている。

興味あることに、そのフレアの光度の時間変化に、30-100Hz の準周期的な振動 (QPO) がある特定の時間帯で見つかっている。その変動はマグネターの強磁場に影響を受けた弾性的なシア運動に伴う振動周期と関係すると考えられている。星全体が振動するなら、重力波の放出につながる。この可能性に対して 2004 年に稼働中の LIGO(S5) の観測では重力波の振幅に上限が与えている。aLIGO/VIRGO/KAGRA の観測では当時のものに比べ、振幅の感度が 4 - 10 倍に増加している。その結果、次のマグネターのフレアでは重力波放出のエネルギー $E \propto h^2$ が一桁から二桁のより強い上限 (または観測) が可能になる。

重力波天文学の幕開けとなった現在、今後の理論の進展と多波長の観測関係するものとなってきた。過去に起こった巨大なフレアの例を参考に光度の時間変動、有意な重力波の振幅となるシナリオを理論的に検討した内容を報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Z229a 重力波源となるブラックホールのスピン進化とBZ機構

梅田秀之(東京大学)

GW150914の発見に前後して、数十太陽質量のブラックホール連星が宇宙年齢の間に合体し現在重力波として観測されるような進化経路が幾つか提唱されている。それらは大別すると共通外層期が含まれるものとそうでないもので、前者としては例えばGW150914を説明するモデルであるBelczynski他(2016)、後者としては例えば、より一般的な重力波源のモデルとして提案された超近接連星系を考えるMarchant他(2016)がある。Belczynski他のモデルでは親星が化学組成の一樣進化を引き起こすほどの高速回転を経験することは無く、連星を成すブラックホールもあまり高速回転にならないと考えられるが、Marchant他のモデルでは組成の一樣進化が起こり、ブラックホールは高速回転となり、減速機構を考えない限り容易にカーブラックホールの臨界回転速度に達してしまう。一方GW150914に対しては(0から1の間に規格化された)スピンパラメーターは0.7より小さいという観測的な示唆があり、これは後者のようなモデルではGW150914を説明できない事を意味するのであるか?本講演ではブラックホールのスピン減速機構としてBlandford-Znajek(BZ)機構を考え、スピンの減速される条件について議論を行う。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Z230r 重力波望遠鏡の現状と展望

安東正樹 (東京大理)

アメリカの重力波望遠鏡 LIGO によって、ついに重力波信号の直接観測が成し遂げられた。これは、一般相対性論によって存在が予言されてから 100 年を経てようやく実現された観測的検証である。そして何より、これによって新たな「重力波天文学」が幕をあげたという意義がある。LIGO が観測した重力波信号 (GW150914) は、410 Mpc の距離にある質量 $36M_{\odot}$ と $29M_{\odot}$ の 2 つのブラックホールからなる連星系が合体し、質量 $62M_{\odot}$ の新たなブラックホールが生まれた瞬間からのものであった。このような重たい恒星質量ブラックホールが存在すること、それらが連星系をなし合体することというのは、これまで観測されたことがなく、既に天文学としての新たな知見が得られている。その一方で、このようなブラックホール連星系の起源など、今回の観測からは新たな謎が生まれている。

現在、LIGO だけでなく、日本の KAGRA、ヨーロッパの VIGRO や GEO といった重力波望遠鏡の建設も進められており、数年後には世界で重力波観測ネットワークが形成される見込みである。それらが稼働を始めれば、重力波源に対する方向決定精度は 10 度平方以内に抑えられ、電磁波対応天体の探索も現実的なものになる。連星中性子星合体で電磁波対応天体が見つければ、ガンマ線バーストの起源やメカニズム、重元素合成に対する知見などが得られると期待できる。さらに将来には宇宙重力波望遠鏡による低周波数の重力波観測が行われれば、連星合体の前にその位置や時刻を予測することも可能になる。軌道パラメータを精密に観測することで、連星を構成するブラックホールのスピンの情報が得られ、連星の起源に対する知見も得られるであろう。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Z231a 宇宙ひも起源の重力波

黒柳幸子, 高橋慶太郎 (熊本大学), 米丸直之 (熊本大学), 隈本宗輝 (熊本大学), 松井由佳 (名古屋大学), 堀口晃一郎 (名古屋大学), 新田大輔 (名古屋大学)

宇宙初期の相転移や超弦理論から予言される「宇宙ひも」は強い重力波を放出すると考えられており、今後の重力波検出実験で探索が進むことが期待されている。重力波実験から得られる宇宙ひもの張力に対する制限は、関連する初期宇宙の物理の検証に役立つ。宇宙ひもはつなぎかわりを繰り返して形を変えながら進化していくため、ひもの上に小さな構造を持つ。そういった構造が強い重力波バーストを放ち、それらは重なり合って背景重力波を形成する。本講演では宇宙ひも上の構造から放出される様々な種類の重力波についてレビューを行った後、KAGRA などの地上重力波干渉計、および衛星型干渉計の DECIGO や eLISA による重力波の検出可能性を議論する。また、SKA などの電波望遠鏡を使ったパルサータイミングによる重力波検出の取り組みにも触れ、背景重力波の非等方性を新たな観測量として宇宙ひもの情報を得るのに役立つための研究を紹介する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Z232a 重力波源と銀河の相互相関を用いた宇宙の絶対距離測定

大栗真宗 (東京大学)

最近発見された GW150914 のようなブラックホールや中性子星の合体イベントはいわゆる標準音源として知られている。すなわち、重力波の波形の解析からその重力波源までの光度距離が直接測定できる。もし電磁波対応天体が観測され赤方偏移の情報が独立に得られれば両者の観測から宇宙の距離-赤方偏移関係が制限され従ってハッブル定数やダークエネルギーのパラメータなどを測定する有力な手法になると期待されている。ただし電磁波対応天体が実際どのくらい明るく、従ってどの程度遠方まで観測されうるかはわかっていない。次世代の重力波観測では赤方偏移 1 を超える遠方まで容易に重力波が観測されそれらの多くはブラックホール連星であると期待されるがそれらの殆どの場合に電磁波対応天体が観測されない可能性もある。

本講演では、電磁波対応天体の観測なしに重力波観測から宇宙の距離-赤方偏移関係を制限する新しい手法を提案する。それは、重力波源の空間分布と可視光観測などで赤方偏移がわかっている銀河の空間分布の相互相関を測定することで統計的に距離-赤方偏移関係を制限するというものである。まずこれらの相互相関の表式を、弱い重力レンズ効果による光度距離推定の変化の効果も考慮しつつ求める。その表式を用いた簡単なフィッシャー行列解析の結果、次世代重力波観測によってハッブル定数やダークエネルギーの状態方程式を強く制限できることがわかった。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Z233a Pulsar Timing Array を用いた超低周波重力波の新しい検出手法

米丸直之, 隈本宗輝, 黒柳幸子 (名古屋大学), 高橋慶太郎, Joseph Silk (パリ天体物理学研究所)

観測により M87 の重心 (photo center) と AGN には数 pc のずれがあることが知られている。一般に銀河重心と AGN の位置は一致しており、このずれを引き起こす要因は様々考えられている。本研究では、AGN 中の超巨大ブラックホールが連星を形成し、連星の軌道運動によりずれが生じている可能性に着目し、連星からの重力波を観測することで連星の存在を検証できるか議論した。しかし、本研究で仮定した連星からの重力波の周波数は Pulsar Timing Array (以下、PTA) の観測周波数帯を大きく下回るため、既存の解析手法では検出できないことが分かった。そこで、我々はこのような超低周波の重力波に対する新しい検出手法を考案した。

PTA は、パルスの周期が非常に安定しているパルサーを用いた重力波の検出手法である。周期の安定性によりパルスの到来時刻を予測できるが、重力波が地球を通過し、地球周辺の metric が変化すると実際のパルスの到来時刻が予測とずれる。このずれが重力波のシグナルとなる (以下、timing residual)。重力波の周波数が PTA の観測周波数帯を大きく下回る場合、timing residual は時間に対し直線的に変化するように見える。これまで直線的に変化する timing residual はパルサーの自転減衰率の補正に吸収されてしまうため、既存の解析手法では検出できないとされてきた。しかし、重力波のシグナルを自転減衰率の補正として吸収すると、補正後の自転減衰率の天球上の分布は重力波の波形を模したものとなり、この補正後の自転減衰率の分布を統計的に調べることで超低周波重力波を検出できると考えられる。本講演では、この新しい手法について詳しく議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Z234a **Arrival time difference between gravitational-wave and electromagnetic signals due to gravitational lensing in general relativity**

高橋龍一（弘前大学）

今年2月LIGO検出器による世界初の重力波の直接検出のニュースが発表された。約 $30M_{\odot}$ のブラックホール連星の合体を捉えた。電磁波による多数の追観測がなされ、Fermi衛星が重力波トリガーから約0.4秒後にhard X線の信号を検出した。このFermiイベントと重力波イベントは関連しているかも知れない。重力波源に対する電磁波、宇宙線、ニュートリノ等の同時観測はMulti-messenger astronomyと呼ばれ、現在非常に活発な研究分野になっている。また重力波と電磁波の同時観測は一般相対論の検証にも使われている。例えば、中性子星連星合体や超新星爆発からやってくる重力波と電磁波の到着時間のずれから、重力波の伝播速度に制限を与えることができる（Nishizawa & Nakamura 2014）。

本講演では、源から重力波と電磁波が同時に放出されても、途中の天体による重力レンズを受けると、一般相対論でも到着時間がずれることを紹介する。これは重力波は波長が非常に長いために、幾何光学近似が破綻し、Shapiro時間遅れを感じずに波が伝わるためである。具体的には、周波数 f の重力波に対し、レンズ天体の質量が約 $10^5 M_{\odot} (f/\text{Hz})^{-1}$ になると幾何光学近似が破綻する。この到着時間のずれは最大 $0.1 (f/\text{Hz})^{-1}$ 秒に達し、より低周波数の重力波で重要になる。連星からの重力波は時間と共に周波数が上昇する（チャープシグナル）ため、重力レンズによる時間の遅れの周波数依存性が測れる。本講演で紹介する到着時間のずれはMulti-messenger astronomyや一般相対論の検証実験で今後重要になるかもしれない。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Z235a 地上の背景重力波観測における相関ノイズのインパクト

樽家篤史（京都大学基礎物理学研究所）、姫本宣朗（日本大学生産工学部）

現在、LIGO、KAGRA、VIRGO などからなる第2世代重力波検出器によるネットワーク観測体制が整いつつあり、本格的な重力波観測時代が到来する。こうしたネットワーク観測で、今後検出が期待されているものに背景重力波がある。背景重力波は、無数の天体から飛来する重力波がランダムに重なる天体起源や、インフレーションなど宇宙の高エネルギー期に作られる宇宙論起源がある。ただし、いずれも特徴的な波形を持たず、検出器の雑音と区別するため、複数台の観測データを組み合わせた相関解析が本質的となる。

相関解析では、各検出器間で相関をもつシグナルだけを拾い出せる。そのため、検出器由来の雑音にまみれたデータから背景重力波の検出が可能となる。ただし地上では、地球の大域的自然現象が、各検出器に影響して相関を持つ雑音源となりうる。その中で深刻とされているのが、シューマン共振による相関雑音である。シューマン共振は、地表と電離層の間を空洞共振する極超長波 (ELF) の固有モードで、検出器の制御装置などを介して、低周波数帯 (数 Hz ~ 数十 Hz) に相関雑音を励起する。実際、磁気センサーを使って LIGO、VIRGO のサイトからシューマン共振の相関が検出されており、今後のネットワーク観測への影響が懸念されている。

本講演では、シューマン共振による相関雑音の影響を調べるための解析的な理論モデルを構築し、そのモデルから明らかになったふるまいを報告する。地球の地表と電離層を完全導体とみなすことで ELF の軸対称固有モードは解析的に表せ、相関雑音は各干渉計の幾何学的配意などの数個のパラメーターで記述できる。このモデルは、LIGO、VIRGO のサイトで測定されたシューマン共振のふるまいを定性的のみならず定量的にも説明でき、今後稼働する KAGRA へのインパクトの推定に使える。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

【K. 超新星爆発】

9月16日（金）午前（09:30-12:06）[A会場]

K01a	09:30	重力崩壊型超新星の高解像度磁気流体シミュレーション	澤井秀朋（高度情報科学技術研究機構/早稲田大学）
K02a	09:42	回転する重力崩壊型超新星の2次元数値計算	中村航（早稲田大学）
K03a	09:54	マグネター駆動超新星における核反応の影響	増山美優（東京大学）
K04a	10:06	中心天体からのエネルギー注入のある超新星エジェクタの2次元特殊相対論的流体シミュレーション	鈴木昭宏（京都大学）
K05a	10:18	重力崩壊型超新星爆発エネルギーの親星モデル依存性	山本佑（早稲田大学）
K06a	10:30	停滞衝撃波の復活に必要な鉄コア外層の揺らぎの大きさの研究	高橋和也（東北大学）
K07a	10:42	I Ib型超新星爆発の親星の多様性の起源	大内竜馬（京都大学）
K08a	10:54	I IP型超新星 SN 2016X の早期観測に基づく爆発直後の光球の進化	中岡竜也（広島大学）
K09a	11:06	衝撃波の非球対称性と shock breakout の性質との関係性について	大谷友香理（国立天文台）
K10a	11:18	Gdを入れた Super-Kamiokande と Hyper-Kamiokande による超新星前兆ニュートリノの観測	吉田敬（東京大学）
K11a	11:30	二重白色矮星連星の合体による Ia型超新星爆発と惑星状星雲 Henize2-428 の中心天体の最期	佐藤裕史（東京大学）
K12a	11:42	Ia型超新星における元素合成に対する新しい GT 強度の影響	森寛治（東京大学/国立天文台）
K13a	11:54	光学的に厚い定常風を伴った Wolf-Rayet 星モデル	仲内大翼（東北大学）

K01a 重力崩壊型超新星の高解像度磁気流体シミュレーション

澤井秀朋, 山田章一

ニュートリノ加熱機構は重力崩壊型超新星の爆発メカニズムの有力候補である。しかし、ニュートリノの輸送や反応を詳細に扱った多くの数値計算例では 10^{51} erg という超新星の典型的爆発エネルギーが再現できていない。我々は、日本天文学会 2014 年秋季年会において、弱磁場と高速回転を伴う星の重力崩壊では磁気回転不安定がニュートリノ加熱を促進し、爆発を強めるという数値シミュレーション結果を発表した。今回我々がターゲットとしたのは弱磁場と低速回転を伴う星の重力崩壊である。これまで、このような星では磁場も回転もダイナミクスに影響しないと考えられてきた。しかし、今回行った 2 次元軸対称高解像度磁気流体シミュレーションでは、磁場が効率的に増幅され爆発が促進されるという結果が得られた。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

K02a 回転する重力崩壊型超新星の2次元数値計算

中村航 (早稲田大学), 滝脇知也 (国立天文台), 固武慶 (福岡大学)

大質量星の最終形態のひとつである重力崩壊型超新星の理論研究は、長い困難の歴史の末に新しいフェーズに入ろうとしている。計算手法と計算機性能の発展にともない、現実的な物理過程に基づいた爆発モデルが手に入るようになった。さらに精緻な物理を取り入れた計算も必要であるが、爆発に転じるモデルを用いて系統的な議論をおこなうことも可能になった。

日本天文学会 2015 年春季および 2016 年春季年会において、幅広い質量と金属量を網羅する超新星親星モデル (Woosley, Heger, & Weaver 2002) に対する計算結果を発表した (Nakamura et al. 2015)。今回、あらたに回転依存性を調べたのでその結果を報告する。重力崩壊する直前のコアの回転速度はよくわかっておらず、今回の計算ではパラメータとして扱った。計算の結果、バウンス直後に停滞する衝撃波の半径は回転モデルの方が大きい傾向にあった。一方、中心で形成される原始中性子星が回転によって支えられ、そこから放出されるニュートリノの光度や平均エネルギーは無回転モデルに比べて著しく減少した。前者は停滞衝撃波の復活を助け、後者は復活を妨げる方向に働く。相反する効果により、回転が爆発を助けるモデルと妨げるモデルが現れた。違いを生む親星構造との関係を系統的に議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

K03a マグネター駆動超新星における核反応の影響

増山美優, 茂山俊和 (東京大学), 中野俊男 (理研)

非常に強い磁場 ($B \sim 10^{14-15}$ G) を持つ中性子星である“マグネター”はその磁気天体としての性質が明らかになってきている一方で、どのような超新星爆発から生まれたのかなど、誕生機構については未だよくわかっていない。そのため、数値シミュレーションによるマグネターが誕生する超新星の研究は現在盛んに行われており、なかでも、誕生時に周期 1 ms で高速自転するマグネターの回転エネルギーを使って明るく輝くマグネター駆動超新星は、超高輝度超新星を説明しうるとして注目されている。周期 1 ms で回転する原始マグネターは、回転エネルギーとして 10^{52} erg を持ち、非常に強い磁場による磁気双極子放射によって、イジェクタ中にその莫大なエネルギーを放出すると考えられる。しかし、実際にマグネターを中心に擁する超新星残骸の観測からは、通常の超新星と変わらない 10^{51} erg 程度しか見つからず、両者のエネルギーの乖離について様々な議論がなされている (e.g. Vink & Kuiper 2006)。

そこで私たちは、マグネター駆動超新星の爆発から超新星残骸に至るまでの数万年の進化を数値シミュレーションで追い、このエネルギーの乖離の原因を探ることを考えた。ニュートリノ加熱機構とは異なり、磁気双極子放射によって数十秒以上にわたり時間をかけてエネルギーが注入されるため、その時期に起こる元素合成には通常の超新星とは異なる特徴が現れる。本講演では、1次元球対称下での核反応を含めたマグネター駆動超新星の進化シミュレーションの結果とマグネターが付随する超新星残骸の観測から見積もられたエネルギーとの比較から、マグネターが誕生時に取りうる自転周期 P_0 と磁場強度 B_0 の制限について報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

K04a 中心天体からのエネルギー注入のある超新星エジェクタの2次元特殊相対論的流体シミュレーション

鈴木昭宏, 前田啓一 (京都大学)

近年発見されている、通常の超新星よりも10-100倍ほど明るいsuperluminous supernovae(SLSNe)の明るさを説明するシナリオとして、超新星として放出されたエジェクタに対し、さらに中心に残されたマグネターなどの天体からのエネルギー注入を考えるモデルが盛んに議論されている。このような過程に関しては、昔から pulsar wind nebulae の超新星残骸への影響などの文脈で議論があるが、超新星エジェクタそのものの力学的エネルギー(典型的に 10^{51} erg)を超えるようなエネルギーの注入が、超新星エジェクタがまだ光学的に厚い段階に行われる場合についての議論はまだ不十分だと言える。特に、中心天体からエネルギーを注入した結果、そのエネルギーがどのようにエジェクタに渡され、最終的にどのような密度やエネルギーの分布を持ったエジェクタが実現されるかについては未解明な部分が多い。特に、最近の Cheng, Woosley, and Sukhbold(2016) らが行った非相対論的2次元流体シミュレーションでは、エネルギー注入の結果としてエジェクタ内に形成される幾何学的に薄い球殻がレイリーテイラー不安定性の発展によって壊され、エジェクタ内部で効率的な物質の混合が起こることが示されている。

そこで我々は、同様の状況設定での2次元特殊相対論的流体シミュレーションを行い、超新星エジェクタの力学的エネルギーの10倍ほどのエネルギーを注入した場合に、どのようなエネルギー分布を持ったエジェクタが実現されるのかを調べた。今回の発表では、シミュレーションの結果と1次元球対称の解析的モデルとの比較を報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

K05a 重力崩壊型超新星爆発エネルギーの親星モデル依存性

山本佑、山田章一（早稲田大学）

近年の理論研究は重力崩壊型超新星の第一原理計算によって、衝撃波復活問題について大きな前進が見られるようになった。一方、 10^{51} erg というよく知られた観測値を説明するという長年重要な課題については、未だに大きな謎を残したままになっている。

本研究はこの爆発エネルギー問題を説明するために、一体どのような重力崩壊前の親星構造が最適かを明らかにすることを主眼としている。そのためにまず、通常広く用いられている星の進化モデルの代わりに、異なる化学組成層の質量をパラメータ化した新たな親星モデルを自ら構築した。そして球対称と軸対称の爆発エネルギーが質量パラメータにどのような依存性を持つか数値流体計算を行うことで系統的に調べた。その結果、従来よりも高いエントロピー分布を持つ比較的軽い鉄コアモデルが、より早いタイミングで爆発出来るため、観測値の爆発エネルギーを再現しやすいことが分かった。またこれらのモデルはニッケル質量についても軸対称爆発であれば、観測と矛盾がないことが確認された。上記の内容は Yamamoto & Yamada(2016) に準拠している。本公演ではさらに、鉄コアのエントロピー分布についてもパラメータ化し、どのような結果が期待されるかも報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

K06a 停滞衝撃波の復活に必要な鉄コア外層の揺らぎの大きさの研究

高橋和也(東北大), 長倉洋樹(カリフォルニア工科大), 山本佑(早稲田大)

近年、重力崩壊型超新星の爆発メカニズムにおいて、親星の非球対称性が重要視されている。重力崩壊前の親星のシリコン・酸素層は、核燃焼に起因して発達する対流によって激しく揺らいでおり、球対称から著しくずれた構造を持っていることが数値計算で示されている。そのような揺らぎは超音速降着流中で成長し、定在降着衝撃波のダイナミクス、ひいては爆発の成否に大きく影響することが数値計算と線型解析によって示されている。先行研究では、衝撃波上流から降着する揺らぎの大きさが小さくても、衝撃波下流の流体不安定性の成長に有利に働くことで爆発に転じやすくなることが示された。一方、仮に揺らぎが十分に大きければ、揺らぎそのものによって直接に爆発に転じることも考えられる。そこで本研究では、揺らぎの直接の影響によって衝撃波が復活するのに必要な揺らぎの大きさを、親星の外層に対して半径の関数として表すモデルを考案した。このモデルを様々な親星に適用することで、鉄コア外層の揺らぎによって衝撃波が爆発に転じる可能性について議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

K07a **IIb 型超新星爆発の親星の多様性の起源**

大内 竜馬, 前田啓一 (京都大学)

超新星爆発は大質量星や白色矮星が進化の最期に起こす爆発現象であり、未だ解明されていないことも多い。特に爆発前の星(親星)の姿は爆発が起こった後には直接観測することができないため、不明な点が多い。超新星はスペクトルや光度曲線に応じて、観測的にいくつかのタイプに分類されている。IIb 型超新星は、爆発直後には水素の吸収線が見えるが、徐々に水素の吸収線が弱くなりヘリウムの吸収線が卓越するスペクトル進化を示すタイプの超新星である。IIb 型超新星を起こす親星は少量の水素外層($\lesssim 1M_{\odot}$)を持つ大質量星と考えられているが、このような親星に至る恒星進化シナリオに関しては決着がついていない。単独大質量星が強い恒星風によって水素外層の大半を放出する単独星進化と、連星系をなす星が伴星へ水素外層の大半を輸送する連星進化の2つが考えられている。近年では様々な状況証拠から連星系のシナリオがより支持されつつある。

IIb 型超新星の爆発直前の親星は候補を含めこれまでに4例が観測されている。それらの親星はHR 図上で青色超巨星から黄色超巨星に至るまで多様性を示すことが知られている。しかしその多様性の起源はまだ分かっていない。そこで本研究では、連星進化の立場からその多様性を説明できるか、またできた場合どのような要因が多様性を生み出しているかを調べた。連星系の進化計算には MESA を用い、ゼロ歳主系列星から主星の爆発直前に至るまでの両方の星の内部構造や光度などの時間進化を、質量輸送も考慮して同時に計算した。結果、伴星の初期質量と初期公転周期をパラメータとした様々な連星系の進化を考えることで、観測されている親星の多様性を再現できることが明らかになった。さらに多様性は主に連星の初期公転周期によって生み出されていることも明らかにした。本発表ではこの成果を発表する。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

K08a **IIP 型超新星 SN 2016X の早期観測に基づく爆発直後の光球の進化**

中岡竜也, 川端弘治, 高木勝俊, 川端美穂, 河原直貴, 安部太晴, 志岐健成, 廣地諄, 吉田道利 (広島大), 山中雅之 (甲南大), 小路口直冬, 杉浦裕紀, 松本桂 (大阪教育大), 伊藤亮介 (東工大)

重力崩壊型超新星では、ごく初期にショックブレイクアウトという現象が起こると考えられている。その冷却期の温度進化を追うことで、爆発直前の親星の情報を得ることができると期待されている。これまで、爆発初期からの多波長に渡る観測は希少であり、光球の温度進化が正しく見積もられた例は少ない。2016年1月20日(UT)にASASチームによって近傍銀河UGC 8041 (17.0 Mpc)に発見された超新星2016Xは、その後の追観測により爆発後間もないII型超新星と同定された。また、Swift衛星により発見後0.5日に紫外域の観測が開始され、爆発直後から紫外線で観測された数少ないIIP型超新星の1つとなった。我々は発見後3日目より広島大1.5mかなた望遠鏡に搭載されたHOWPol/HONIR、及び大阪教育大50cm望遠鏡によって測光分光観測を開始した。SN2016Xの測光結果から得られたVバンドのプラトー期の長さは 61 ± 6 日と、II型超新星の平均値 83.7 ± 16.7 日(Anderson et al. 2014)と比べて短めである。また、紫外域-近赤外域の結果から得られたSEDは黒体放射で近似可能であり、その温度は発見1日後の約19000 Kから急速に下がったものの、30日以降は5000 K付近でほぼ一定となった。この特徴は、同じく初期からSwift衛星で観測が行われたIIP型超新星2012aw, 2014cxと類似している。つまり、爆発初期の光球(温度・半径)の進化は、プラトー期の長さ(12awと14cxはそれぞれ96日と73日)によらず、ほぼ一様であるといえる。サンプル数は依然限られるものの、講演では、既存の理論モデルとの比較も交え、爆発初期のIIP型超新星の特徴を議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

K09a 衝撃波の非球対称性と shock breakout の性質との関係性について

大谷友香理（国立天文台）、鈴木昭宏（京都大学）、茂山俊和（東京大学）

重力崩壊型超新星は爆発する瞬間に、短時間の明るい X 線や紫外線放射を発生させる。これは shock breakout と呼ばれる、衝撃波が光学的に厚い領域から薄い領域へと伝播する現象が原因である。希少な観測例の XRO 080109/SN 2008D は、高密度な星周物質の内部で起こった shock breakout であることが信じられている。先行研究では、観測された放射のスペクトルがもつ非熱的な高エネルギーテール成分が、衝撃波前後におけるバルク・コンプトン散乱によって説明できることが示された。また、放射の光度曲線の形状が、衝撃波の形状の非球対称性や観測者の方向を調べる指標になりうることが示唆された。しかしながら、一つの衝撃波モデルを使って X 線放射の光度曲線とスペクトルの両方を計算した先行研究はなかった。

本研究では、回転楕円体のような形状で星周物質の内部を伝播する衝撃波面を仮定することにより、衝撃波面上で発生する放射の性質が、衝撃波面の非対称性の度合いと視線方向とからどのような影響を受けるかを調べた。衝撃波の内部における密度は一律とし、速度は動径方向において一定かつ対称軸（長軸）方向で光速の 70%前後と仮定した。また、shock breakout が起こるとき星中心から測った衝撃波の位置を 10^{12} cm とした。モンテカルロ法を用いて輻射輸送計算を行った結果、衝撃波の対称軸を含む断面における扁平率が大きくなるほど、また、視線方向が衝撃波の対称軸方向から離れるほど、光度曲線における onset からピークまでの時間が長くなる傾向があることがわかった。本講演では、XRO 080109 の観測と計算との比較結果も報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

K10a Gdを入れた Super-Kamiokande と Hyper-Kamiokande による超新星前兆ニュートリノの観測

吉田敬, 高橋亘, 梅田秀之 (東京大学), 石徹白晃治 (東北大)

大質量星の進化の最終段階には超新星ニュートリノより少ないものの大質量星からニュートリノが放出される。この超新星前兆ニュートリノは数 100pc の距離で超新星が起きた場合には現在稼働中の KamLAND や建設中の JUNO などの液体シンチレーション型ニュートリノ観測装置を用いて観測可能と予測されている。一方, Super-Kamiokande (SK) では超新星背景ニュートリノを検出するために Gd を入れることが予定されている。Gd はニュートリノ反応により生成された中性子と反応して後発 γ 線を生成する。この後発 γ 線を測定する実験によると, この γ 線は 4.3 MeV 付近にピークを持ち最大エネルギーが約 8 MeV のスペクトルを示す。そのため, この γ 線を SK や建設予定の Hyper-Kamiokande (HK) を用いて検出することでより多くの超新星前兆ニュートリノのイベントを観測できる可能性がある。本研究では, Gd を入れた SK や HK による後発 γ 線を用いた超新星前兆ニュートリノ観測の可能性について調べた。

我々は後発 γ 線のスペクトルの特徴を元に SK と HK で 50% の検出効率を仮定して超新星前兆ニュートリノのイベント数を見積もった。その結果, 200pc の距離の $15M_{\odot}$ の星が進化した超新星を仮定すると, HK を用いれば爆発直前の 1 週間で数 1000 の $\bar{\nu}_e$ イベントを観測する可能性があることが得られた。また, $\sim 3\text{kpc}$ の距離での超新星でも 10 イベント以上の前兆ニュートリノの観測が可能となる。発表では Gd を入れた SK や HK による超新星前兆ニュートリノの観測可能性についてより詳細に示す。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

K11a 二重白色矮星連星の合体による Ia 型超新星爆発と惑星状星雲 Henize2-428 の中心天体の最期
佐藤裕史, 谷川衝, 野本憲一, 蜂巢泉 (東京大学), 中里直人 (会津大学), 前田啓一 (京都大学)

白色矮星連星の合体は、Ia 型超新星の親星候補の 1 つ (Double degenerate scenario) と考えられている。近年の流体シミュレーションにより、炭素酸素 (CO) 白色矮星連星の合体で、より軽い白色矮星 (伴星) がより重い白色矮星 (主星) に激しく降着し、爆轟波が起きる可能性が示されている。爆轟波は主星内を伝播し、 ^{56}Ni を生成、最終的に主星全体が爆発する。このシナリオは Violent merger scenario と呼称され、白色矮星連星合体が Ia 型超新星に至る経路の 1 つと考えられている (Pakmor et al. 2010)。

本研究において我々は、3次元 Smoothed particle hydrodynamics (SPH) コードを用いて、 $0.5 \sim 1.1 M_{\odot}$ の質量を持つ CO 白色矮星連星の合体についてシミュレーションを行い、Violent merger scenario によって Ia 型超新星に至る限界質量比 (主星質量と伴星質量の比) を求めた。Violent merger の限界質量比については、先行研究によって主星質量が $0.9 M_{\odot}$ の場合についてのみ議論されている (Pakmor et al. 2011) が、今回の我々の研究とは異なる結果が得られている。考察の結果、合体の初期条件、具体的には、白色矮星連星の自転と公転が同期しているか否かが、限界質量比を決定する上で重要だということが判明した。今回の発表では、上記の議論に加え、本研究と我々の先行研究 (Sato et al. 2015) の結果を組み合わせることで、主星質量-質量比 ($M_1 - q$) 図上で、白色矮星連星合体の帰結について議論する。

また最近の観測から、惑星状星雲 Henize2-428 の中心にチャンドラセカール質量限界以上の合計質量を持った白色矮星連星の存在が示唆されている (Santander-Garcia et al. 2015)。その合体が Ia 型超新星に至る可能性についても、本講演で示す。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

K12a Ia型超新星における元素合成に対する新しいGT強度の影響

森寛治 (東京大学, 国立天文台), M. Famiano (Western Michigan University), 梶野敏貴 (東京大学, 国立天文台), 鈴木俊夫 (日本大学, 国立天文台), 日高潤 (明星大学), 本間道雄 (会津大学), 大塚孝治 (東京大学), 岩本弘一 (日本大学), 野本憲一 (東京大学)

白色矮星に徐々に物質が降着すると、やがて質量が Chandrasekhar 限界 $\sim 1.4M_{\odot}$ に達して熱核融合を起こす。これが Ia 型超新星であると考えられている。Ia 型超新星は、宇宙における距離を測定するための標準光源として広く利用されている。また、宇宙核物理学の立場からは、鉄族元素の主な供給源として、宇宙の化学進化を考える上で重要な天体である。

近年の実験によって、pf 殻核の Gamow-Teller (GT) 遷移強度が従来の計算に比べて小さいことが明らかになってきている。従来用いられてきた GT 遷移強度を用いて Ia 型超新星における元素合成計算を行うと、Cr、Mn、Fe、Co、Ni の同位体のうち中性子過剰な核種を太陽系組成と比べて多く作りすぎてしまうという問題があった (Iwamoto et al. 1999)。しかし、より実験値に近い GT 遷移強度を用いることで、中性子過剰核の生産を抑制することができる可能性がある。最近の殻模型計算により、実験値 (Sasano et al. 2012) に近い GT 遷移強度が理論的に再現されるようになった (Suzuki et al. 2011)。そこで本研究では、新しく計算された電子捕獲率を用いて Ia 型超新星における元素合成ネットワーク計算を行い、従来の電子捕獲率を使って行われた同様の計算と比較を行う (Mori et al. in prep)。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

K13a 光学的に厚い定常風を伴った Wolf-Rayet 星モデル

仲内 大翼 (東北大学), 斉尾 英行 (東北大学)

Wolf-Rayet 星は進化の進んだ大質量星であり、質量放出により水素外層を失った星であると考えられている。近年、観測的に得られている WN 型 Wolf-Rayet 星の半径が理論的に予測されている値よりも数倍から一桁程度大きいことが問題となっている。この問題を解決するモデルとしては、これまで静水圧平衡な星モデルに依拠したものが主に考えられてきた。つまり、星の光度が Eddington 光度に近い場合には外層が非常に膨張した構造を持つことを用いたモデルである。しかし、そもそも Wolf-Rayet 星は輻射圧を起源とした質量放出を行っているので、静水圧平衡な星モデルに依拠した議論では考察が不十分だと考えられる。また、観測されているような質量放出率を考慮しながら静水圧平衡な星モデルを作ると、膨張外層構造が消失してしまうという矛盾した結果も報告されている。そこで本講演では、静水圧平衡な He 燃焼コアと光学的に厚い定常風外層からなる Wolf-Rayet 星モデルを構築し、このモデルで WN 型 Wolf-Rayet 星の半径問題を説明できるかどうかを調べる。また未だよく理解されていない質量放出機構に関して得られる示唆についても議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

【L. 太陽系】

9月14日(水) 午前(11:00-12:00) [H会場]

L01a	11:00	すばる Hyper Suprime-Cam による木星トロヤ群サーベイ (1) 観測・データ解析 寺居剛 (国立天文台)
L02a	11:12	すばる Hyper Suprime-Cam による木星トロヤ群サーベイ (2) サイズ頻度分布 吉田二美 (国立天文台)
L03b	11:24	すばる Hyper Suprime-Cam による木星トロヤ群サーベイ (3) ヒルダ群 寺居剛 (国立天文台)
L04b	11:24	木星の偏光観測 池邊彩乃 (兵庫県立大学)
L05b	11:24	可視近赤外背景放射の等方成分はオールト雲ダストによる太陽光の反射で説明できるか? 長島雅裕 (文教大学)
L06a	11:36	「あかり」遠赤外線全天画像中の淡い小惑星ダストバンド構造 大坪貴文 (東京大学)
L07a	11:48	流星群の地心速度が及ぼす放射点分布の広がりへの影響 土屋智恵 (国立天文台)
L08c		インドネシア皆既日食時の太陽ダストリング検出を目的とした地上及び航空機観測 高木悠平 (国立天文台)
L09c		OASES 観測システムによる TNO 恒星掩蔽モニタ観測 有松亘 (国立天文台)
L10c		地球近傍小天体 (1566)Icarus・2007 MK ₆ の観測キャンペーン 浦川聖太郎 (日本スペースガード協会)
L11c		東北大学ハレアカラ観測所(ハワイ)における木星と火星の撮像観測 浅田正 (九州国際大学)

L01a **すばる Hyper Suprime-Cam による木星トロヤ群サーベイ (1) 観測・データ解析**

寺居剛, 吉田二美 (国立天文台)

木星の L4・L5 点近傍に位置する木星トロヤ群の起源は、太陽系初期に外縁領域から運搬された小天体が惑星との重力相互作用によって捕獲されたものである、とするモデルが近年提案されている。木星トロヤ群と他の小天体グループ間で起源・進化について関連性を探る手段として、それぞれのサイズ分布を比較するのが有効である。正確なサイズ分布の決定には、高精度の天体サイズ測定に加えて多数の天体サンプルを確保することが必要となる。

我々はまだ観測例が少ない直径 10 km 以下の木星トロヤ群天体のサイズ分布を明らかにするため、すばる望遠鏡の次世代主焦点カメラ Hyper Suprime-Cam を用いて、木星 L4 点近傍の黄道面領域にて約 29 平方度にわたるサーベイ観測を実施した。データ解析の結果、631 個の木星トロヤ群天体を検出し、それらから抽出した無バイアスサンプル 481 個から直径 2 - 20 km のサイズ分布をこれまでにない高い精度で決定することに成功した。本講演では、取得された多数の画像データから木星トロヤ群天体を正確かつ効率的に検出・測定するために開発された解析手法を解説するとともに、データ較正、検出率評価、軌道推定、天体サイズ算出などの方法についても議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

L02a すばる Hyper Suprime-Cam による木星トロヤ群サーベイ (2) サイズ頻度分布

吉田二美, 寺居剛 (国立天文台)

木星トロヤ群はメインベルトやカイパーベルトと並び、太陽系小天体が稠密に存在する領域である。古典的なモデルでは惑星形成期に木星軌道付近にあった微惑星がそのまま木星トロヤ群となり、原始木星の材料物質の手がかりをもつという位置づけであった。だが最新の太陽系形成論では太陽系初期に大惑星の動径方向移動が二段階に亘り発生し、雪線の内外で形成された微惑星の混合があったと主張される。近年発見された氷の昇華が見られる活動的小惑星はこの主張を強固にする。木星トロヤ群は木星軌道より外側からカイパーベルト付近までの天体が大惑星移動期に内側へ散乱されたものと予想される。

惑星の動径方向移動に伴う共鳴帯の移動が天体散乱の原因なら、この過程は小天体のサイズとほぼ無関係に作用して小天体を散乱するので、散乱の前後で小天体群のサイズ頻度分布 (SFD) は不変だろう。私達はこの仮説に基づき木星トロヤ群の SFD を求め、他の天体群のそれと比較した。この研究は以前 Suprime-cam でも行ったが、Hyper Suprime-Cam (HSC) を使えばより多くの天体を効率良く検出できる。今回は以前より高精度で直径 $D = 2\text{--}20\text{km}$ の木星トロヤ群の SFD が求められた。その累積 SFD をべき乗分布で近似すると $N(> D) \propto D^{-1.84}$ となる。これを SDSS の結果と組み合わせると木星トロヤ群では $D \sim 70\text{km}$ と $D \sim 10\text{km}$ 付近で SFD の傾きが変化することが分かった。これに対してメインベルトは傾きの変曲点がいくつもある波状の SFD を持つ。この結果を踏まえ、今後は HSC で検出されたカイパーベルトの SFD と比較して木星トロヤ群の起源と初期太陽系の力学進化の様相を明らかにする。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

L03b すばる Hyper Suprime-Cam による木星トロヤ群サーベイ (3) ヒルダ群

寺居剛, 吉田二美 (国立天文台)

木星との 3:2 平均運動共鳴 (軌道長半径 3.97 au) に位置するヒルダ群は、木星トロヤ群と同様に太陽系初期の惑星移動を検証するうえで重要な小天体群だが、起源や他の小天体グループとの関連性などは不明な点が多い。特にサイズ分布はこれまでに直径 10 km 程度までしか測定されておらず、木星トロヤ群などと比較するにはより広いサイズ範囲の分布を調べる必要がある。

そこで我々は、すばる望遠鏡 Hyper Suprime-Cam を用いて実施した木星 L4 点サーベイのデータからヒルダ群天体の抽出を試みたところ、約 29 平方度の天域から 130 個を検出した。その多くは直径 5 km 未満の天体で、検出限界は約 1 km に相当する。木星トロヤ群の解析と同じ手法を適用し、無バイアスサンプル 91 個から得られたヒルダ群天体のサイズ分布を木星トロヤ群のものと比較した結果、有効なサイズ範囲 (直径 2 - 10 km) 全体にわたって両者は極めてよく一致することが分かった。この結果から木星トロヤ群とヒルダ群は同様の衝突進化を経ていると考えられ、組成や内部構造が類似している可能性が示唆される。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

L04b 木星の偏光観測

池邊彩乃、伊藤洋一、高橋隼 (兵庫県立大学)

太陽系内のほとんどの天体は太陽光を反射することで輝く。反射した光の偏光を調べることで反射体の物性や形状を推定できるため、惑星や小惑星に対しては数多くの偏光観測がなされてきた。

木星の 3760\AA での偏光度は中心部で約 2%、中心から遠くなるほど増加し、周縁部で約 6% である (Gehrels et al. 1968)。偏光ベクトルは放射状に分布すると報告されている。また、パイオニア 10 号の観測では 4400\AA での偏光度は中心部で約 10%、南北の周縁部で約 35% であり、偏光方位角は 180° でほぼ一定との報告がされている (Coffeen 1979)。

偏光を得るには、 $0^\circ, 45^\circ, 90^\circ, 135^\circ$ の 4 方向に振動する偏光成分をそれぞれ観測する必要がある。従来の偏光装置は 1 つ、多くて 2 つの偏光成分ずつ観測していた。木星のように自転の速い天体を観測する場合、算出される偏光度や偏光方位角は木星の自転や大気変動により誤差が生じる。そこで、4 つの偏光成分を同時に観測できる同時偏光撮像・分光装置 POL を西はりま天文台の 2 m 反射望遠鏡「なゆた望遠鏡」に取り付けて木星の偏光観測を行った。バンドフィルターは B、V、R の 3 つを使い、積分時間は 1 秒 (B)、0.4 秒 (V)、0.2 秒 (R) である。本研究では 2015 年 5 月 27 日のおよそ 3 時間半の観測で得られたデータを使用した。

木星の V バンド画像を解析した結果、偏光度は中心部で約 4%、中心から離れるに従って減少し、ある領域を超えると急激に増加し周縁部では約 27% になることが分かった。また、周縁部と中心部の偏光ベクトルはほぼ直交することが分かった。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

L05b 可視近赤外背景放射の等方成分はオールト雲ダストによる太陽光の反射で説明できるか?

長島雅裕 (文教大学), 小林正和 (呉高専)

電磁波に限らず、あらゆる背景放射は宇宙の成り立ちを理解する上で極めて重要な情報を与えてきた。また、大半の背景放射は銀河系外に起源を持つことも明らかとなりつつある。可視・近赤外背景放射も同様に系外銀河からの光の重ね合わせとして様々な研究がなされてきた。銀河計数などからの観測・理論両面にわたる研究からの予測は、背景放射の観測値を大幅に下回っているものの、その原因は黄道光の寄与を正しく評価できていないとするか、あるいは初代星などまだ観測されていない天体からの寄与によるのではないかと漠然と考えられてきた。

ところが、系外ガンマ線源の観測は、系外赤外背景放射の上限値が銀河計数の積分値とほぼ同程度であることを明らかにしてしまった。初代星のような系外天体起源の放射によって観測値との食い違いを説明することは極めて困難な状況となっている。

我々は今回、等方的な可視・近赤外背景放射が期待される成分として、太陽系オールト雲にあるダストによる太陽光の反射成分に注目した。オールト雲の存在自体がまだ仮説ではあるが、もし存在するならば、彗星同士の衝突などによってダストも存在することが期待される。もし、数 μm 程度のダストが 2500 au 付近に地球質量の 10 倍程度あれば、観測されている背景放射を十分に説明できることがわかった。また、ダストの反射特性が、木星軌道よりも遠方で優勢と考えられている RD 型ダストと同様の特性を持てば、可視領域の背景放射の観測は不定性が大きいものの、可視から近赤外にかけてのスペクトルが良く再現できることもわかった。本講演では、その詳細について報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

L06a 「あかり」遠赤外線全天画像中の淡い小惑星ダストバンド構造

大坪貴文, 土井靖生 (東大総文), 瀧田怜, 川田光伸, 北村良実, 中川貴雄 (ISAS/JAXA), 松浦周二 (関西学院大), 臼井文彦 (神戸大), 有松亘 (NAOJ), 石原大助 (名古屋大), 他「あかり」チーム

赤外線天文衛星「あかり」の遠赤外線全天画像データ (65, 90, 140, 160 μm) は、現在広く一般に対し公開されており (Doi et al., PASJ, 2015)、これは黄道光・黄道放射研究にとっても重要なデータである。赤外線波長域の黄道放射の空間的微小構造として、小惑星ダストバンドが過去の赤外線衛星の観測で検出されていたが、「あかり」の遠赤外線画像の短波長側 2 バンド (65, 90 μm) でも、黄道面付近と黄緯 $\pm 10^\circ$ の数 MJy/sr レベルのダストバンド構造を明確に検出することができた (2016 年春季年会、大坪他)。

我々は、さらにこの遠赤外線全天画像に対してハイパスフィルタなどの画像処理を施すことにより、微小で淡い小惑星ダストバンド構造の抽出をおこなっている。この画像強調処理によって、黄道面付近のダストバンドを黄緯 $\pm 1.4^\circ$ と $\pm 2.1^\circ$ の 2 つに分離し、 $\pm 10^\circ$ バンドを加えた主要な 3 バンドを明確に検出することができた。さらに、過去の観測でもその存在を示唆されていた黄緯 $\pm 6^\circ$ 、 $\pm 13^\circ$ 、 $\pm 17^\circ$ 付近の淡いバンド構造を、「あかり」の観測でも 3σ レベルで検出できている可能性が高い。こうした小惑星ダストバンドは、天球面上での輝度分布の黄経に対する変化を調べることで、ダストバンド構造が惑星間空間で太陽からどの距離に存在しているかを知ることができる。本講演では、「あかり」が検出したダストバンド構造を紹介し、その空間分布とダストの物理的性質について議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

L07a 流星群の地心速度が及ぼす放射点分布の広がりへの影響

土屋智恵 (国立天文台), 佐藤幹哉 (かわさき宙と緑の科学館), 渡部潤一 (国立天文台)

同じ流星が複数の地点で同時に観測されると、その流星の軌道要素や発光点が求められ、どの流星群に属する流星なのか判定することができる。同じ流星群に含まれる流星は放射点と呼ばれる天球上のある一点から流れるように見えるため、観測で得られた発光点を天球図上にプロットすることで、その集中度から視覚的な流星群の判定が可能となる。本来であれば流星群の放射点は狭い範囲にまとまるはずだが、流星群ごとに放射点の広がり的大小が異なっていることが指摘されている。これは地球速度による影響が大きいものと考えられ、特に対地速度が低速の流星群は流星群と認識できないほど放射点が広がっていることがわかっている (Sato & Watanabe, 2013)。このようなケースでは個々の流星の軌道要素が似ていても天球図上での発光点が離れているために同じ流星群に属する流星とは見なされず、流星群の出現を見逃してきた可能性がある。

本研究では、日本国内の流星ビデオ観測ネットワークである SonotaCo Network のデータなどを使用し、天球上における流星の発光点に地球の運動による効果の補正を加えることによって流星群の放射点の広がりがどのように変わるのかを検証し、その有効性を議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

L08c **インドネシア皆既日食時の太陽ダストリング検出を目的とした地上及び航空機観測**

高木悠平（国立天文台）、向井正（神戸大学）、伊藤洋一、高橋隼（兵庫県立大学）、NHK コズミックフロント NEXT 取材班

2016年3月9日に起こった皆既日食について、ダストリング検出を目的とした観測を実施した。過去の日食時に行われた近赤外観測などから、太陽中心からおおよそ4太陽半径の場所に赤外線強度超過が見つかり、この位置にダストリングがある可能性が示唆されている（e.g., MacQueen 1968）。ダストリングの形成は、ポインティング - ロバートソン効果により落下するダスト粒子が太陽に接近するとともに昇華して小さくなり、放射圧が相対的に大きくなることに起因している。これにより太陽近傍でダストの落ち込み速度が小さくなり、ダストリングを形成すると考えられる（e.g., Mukai et al. 1974）。

一方、近年の観測ではこのダストリングは観測されていない（e.g., Ohgaito et al. 2002）。ダストリングの有無や変動パターンを知ることで、ダストリングの形成条件やダストの進化に関する制限をつけることができる。

本研究では、インドネシアでの近赤外撮像観測および可視偏光観測と、天候リスクを回避できる航空機からの近赤外撮像観測を行った。地上観測では、曇天のため有益な観測データを得ることができなかった。一方、航空機では観測波長 0.9-1.7 μm で撮像観測を実施した。観測場所はインド洋上空であったが、観測時の太陽高度が3度と低く、薄雲がかかった条件での観測となり、ダストリングを検出するに至らなかった。本発表では、今回の日食時のコロナの明るさとその分布について議論を行う。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

L09c

OASES 観測システムによる TNO 恒星掩蔽モニタ観測

有松亘, 渡部潤一, 小谷隆行, 市川幸平 (国立天文台), 臼井文彦 (神戸大学), 大坪貴文, 猿楽祐樹 (東京大学), 和田武彦, 長勢晃一 (宇宙科学研究所)

Organized Autotelescopes for Serendipitous Event Survey (OASES) は、直接観測では検出不可能なキロメートルサイズの太陽系外縁天体 (TNO) の個数密度と空間分布に観測的制約を与えることを目的とし、小口径の可視光望遠鏡を複数台用いて、TNO による恒星掩蔽現象を探索する観測的研究プロジェクトである。キロメートルサイズの TNO による恒星掩蔽の継続時間は約 0.2-0.5 秒程度であり、発生頻度は極めて小さいことが推定される。本研究ではこうした掩蔽現象を効率よく検出するため、有効口径約 30 cm の Rowe-Ackermann Schmidt Astrograph 光学系の主焦点に、低ノイズで高速読み出しが可能な民生品の CMOS カメラを組み合わせ、約 4 平方度の視野内の恒星を最大 15 Hz のフレームレートで連続撮像できる小型広視野高速観測システムを 2 台作成した。2016 年度は作成した 2 台の観測システムを同時に運用し、V バンド等級で 14 等より明るい恒星最大約 10000 個を連続高速測光することで、未知のキロメートルサイズ TNO による恒星掩蔽現象を世界で初めて検出することを目指している。本講演では 2016 年 6 月から沖縄県宮古島市で実施する、OASES 観測システムを用いた TNO 掩蔽モニタ観測の概要と、初期の観測で取得されたデータを紹介しつつ、モニタ観測が与える TNO の個数密度と空間分布への制約について議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

L10c 地球近傍小天体 (1566)Icarus・2007 MK₆ の観測キャンペーン

浦川聖太郎 (日本スペースガード協会), 大塚勝仁 (日本流星ネットワーク), 阿部新助 (日本大学), 木下大輔 (国立中央大学), 黒田大介, 福井暁彦, 花山秀和, 宮地竹史, 成田憲保 (国立天文台), はしもとじょーじ, 櫻井友里 (岡山大学), 高橋隼 (兵庫県立大学), 谷川智康 (三田祥雲館高校), 綾仁一哉, 前野将太 (美星天文台), 石黒正晃 (ソウル大学), 今井正堯, 倉本圭 (北海道大学), 渡辺誠 (岡山理科大学), 関口朋彦 (北海道教育大学)

地球近傍小天体 2007 MK₆(以下、MK6) は、その軌道が (1566)Icarus(以下、Icarus) のものと類似しており、同一起源であることが示唆されている (Ohtsuka et al. 2007)。加えて、Icarus と MK6 に類似した軌道を持つ流星群として Taurid-Perseid がある。これらの事象から我々は「YORP 効果あるいは衝突事象により母天体である Icarus(直径約 1 km) から MK6(直径約 250 m) が分裂した。また、分裂により発生したダストが Taurid - Perseid の供給源となった。」と仮説を立てた。両天体が同一起源であると観測的に証明するためには、両天体の反射スペクトルが一致していることを確認する必要がある。また、YORP 効果で分裂した小天体の典型的な自転周期は 5 時間であるのに対し (Pravec et al. 2010)、衝突事象により分裂した小天体の自転周期は 2.2 時間以下である (Warner et al. 2009)。MK6 の自転周期から分裂原因を推定することも可能である。我々は、2015 年 6 月及び 2016 年 6 月に、国内外の様々な望遠鏡を用いて、Icarus と MK6 の反射スペクトル (色指数) と自転周期を求める観測を実施した (実施観測所: 北大ピリカ望遠鏡、兵庫県立大学なゆた望遠鏡、岡山天体物理観測所 1.88m 望遠鏡、美星スペースガードセンター 1m 望遠鏡、国立天文台むりかぶし望遠鏡、ルーリン天文台、美星天文台、岡山大学望遠鏡、ローウェル天文台)。本講演では、初期観測成果について発表する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

L11c 東北大学ハレアカラ観測所(ハワイ)における木星と火星の撮像観測

浅田正(九州国際大学), 坂野井健, 鍵谷将人(東北大学惑星プラズマ大気研究センター)

ハワイ・マウイ島ハレアカラ山頂にある東北大学惑星プラズマ大気研究センターの60cm反射望遠鏡を、日本から遠隔操作して木星と火星の撮像観測を行った。

木星に関しては、2015年12月から2016年5月までの5箇月、100分間隔で1日3回、RGBと赤外線連続光、メタンバンドの5種類のフィルターで撮像を行った。火星については、2016年3月末から6月末までの3箇月、RGBで撮像を行った。

12月と5月は晴天率がやや低かったものの、全体では141夜中112夜が晴天(79.4%)であった。

高い晴天率と比較的落ち着いた気流により、木星や火星の雲の短時間の時間変化を追跡することが可能となった。木星に関しては、2月23日から3月1日までの7日間に4画像をほぼ同じ経度で撮影することができ、その間のNNTBやNEB北縁、SEB南縁やSSTBの白斑の時間変化が明瞭になった。また火星のオリンポス山の風下の雲が3月30日には2つに分裂していたものが、4月2日には西側の部分が淡くなっていることが捉えられた。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

【M. 太陽】

9月15日(木) 午前(09:30-11:30) [G会場]

M01a	09:30	衝撃波・乱流の両効果を取り入れた新たな一次元コロナ・太陽風モデル	庄田宗人(東京大学)
M02a	09:42	太陽風の Data-driven modeling における加熱モデルと太陽風構造について	田光江(情報通信研究機構)
M03a	09:54	IPS 観測から得られた太陽風速度とコロナホール面積の関係	徳丸宗利(名古屋大学)
M04a	10:06	大規模画像データを用いた太陽コロナホールの生成・消滅過程の研究	加納大空(名古屋大学)
M05a	10:18	NICT 新太陽電波望遠鏡と宇宙天気予報	岩井一正(情報通信研究機構)
M06b	10:30	活動領域における磁気エネルギーのパワースペクトル解析	川畑佑典(東京大学)
M07b	10:30	飛騨 DST 偏光分光観測によるフレアリボンの He I 10830 Å 線の振る舞い	米谷拓朗(茨城大学)
M08b	10:30	太陽フレアデータと太陽地球圏環境への影響の関係に関する統計解析	西本将平(防衛大学校)
M09c		彩層分光観測で探る太陽フレアのエネルギー解放過程とダイナミクス	鄭祥子(京都大学)
M10c		The estimation of CME speed and SEP flux associated with solar superflares	Takuya Takahashi (Kyoto University)
M11c		The relationship between the spatio-time structure of flare two-ribbon and MHD Kelvin-Helmholtz instabilities in the flaring corona	Takuya Takahashi (Kyoto University)
M12b	10:42	IBIS - 「ひので」 - IRIS 共同観測による磁束キャンセレーション領域の3次元磁場構造の理解	久保雅仁(国立天文台)
M13b	10:42	太陽フレア望遠鏡赤外ポラリメーターで観測したコロナホール	萩野正興(国立天文台)
M14b	10:42	太陽観測におけるシンチレーションモニタを使用した大気擾乱定量化	山本大二郎(茨城大学)
M15b	10:54	Sunrise-3 気球実験による彩層の高解像度・高感度偏光分光観測	勝川行雄(国立天文台)
M16b	10:54	太陽用マイクロレンズ面分光データの解析について	末松芳法(国立天文台)
M17b	10:54	プラズモイド高速リコネクションにおける動的ベチェック過程の役割	柴山拓也(名古屋大学)
M18b	11:06	非対称磁気リコネクションに関する新たな知見がもたらすもの	新田伸也(筑波技術大学)
M19b	11:06	適合格子細分化法を用いた動的な太陽圏モデルの構築	松本倫明(法政大学)
M20b	11:06	インヤン格子による太陽表面磁束輸送コードの開発	飯島陽久(名古屋大学)
M21b	11:18	京全ノードを用いた太陽対流層の超高解像度数値計算	堀田英之(千葉大学)
M22c		活動領域非線形フォースフリー磁場計算システムの開発2	塩田大幸(名古屋大学)

9月15日(木) 午後(13:30-15:30) [G会場]

M23a	13:30	太陽磁場観測を用いた差動回転及び子午面循環流の解析	藤山雅士(名古屋大学)
M24a	13:42	ひので極域磁場観測を用いた太陽極域自転速度測定	塩田大幸(名古屋大学)
M25a	13:54	η 抑制効果を取り入れたMHD磁束輸送ダイナモ	市村千晃(東京大学)
M26a	14:06	平均場モデルに基づいた2セル型太陽子午面流の研究	戸次宥人(東京大学)
M27a	14:18	磁場の効果を中心とした太陽オーバーシュート層の精密な調査	堀田英之(千葉大学)
M28a	14:30	次期太陽周期活動の予測に向けて	今田晋亮(名古屋大学)

(次頁に続く)

【M. 太陽】

M29a	14:42	京都大学飛騨天文台 SMART 望遠鏡 SDDI(新全面像速度場撮像装置) による観測	石井貴子 (京都大学)
M30a	14:54	飛騨天文台 SMART 望遠鏡を用いた高速成分を伴うフィラメント活動現象の発生頻度解析	廣瀬公美 (京都大学)
M31a	15:06	フィラメント噴出とそれに関連するフィラメントの特徴について	関大吉 (京都大学)
M32a	15:18	放射凝縮による太陽プロミネンス形成の 3 次元 MHD シミュレーション	金子岳史 (東京大学)

9月16日(金) 午前(09:30-11:30) [G会場]

M33a	09:30	Coronal MHD shock-prominence interaction	Takuya Takahashi (Kyoto University)
M34a	09:42	太陽フレア予測のための特徴量の重要度と評価手法考察	西塚直人 (情報通信研究機構)
M35a	09:54	プラズマのための磁気流体力学	柴崎清登 (太陽物理学研究所)
M36a	10:06	太陽電波ゼブラパターンの統計的偏波特性-II	金田和鷹 (東北大学)
M37a	10:18	CLASP の高速分光観測で探る太陽彩層に偏在する高速伝播現象	久保雅仁 (国立天文台)
M38a	10:30	CLASP/SJ による太陽活動領域におけるライマンアルファ線の時間変動観測	石川真之介 (宇宙航空研究開発機構)
M39a	10:42	ねじれた磁力線を伴う彩層ジェットの 3 次元シミュレーション	飯島陽久 (名古屋大学)
M40a	10:54	太陽ジェットの二段階加速の観測とその物理機構についての考察	坂上峻仁 (京都大学)
M41a	11:06	Various Chromospheric Heating Events in Emerging Flux Regions	鳥海森 (国立天文台)
M42a	11:18	次期太陽観測衛星計画 SOLAR-C : 科学目的の尖鋭化	原弘久 (国立天文台)

9月16日(金) 午後(13:30-15:18) [G会場]

M43a	13:30	東アジアにおけるキャリントンイベント記録の再検討	玉澤春史 (京都大学)
M44a	13:42	X 線天文衛星「すざく」搭載広帯域全天モニター WAM による 2005 年から 2015 年までの太陽フレアの観測	矢部聖也 (埼玉大学)
M45a	13:54	太陽の白色光フレアの統計的研究と太陽型星スーパーフレアとの比較	行方宏介 (京都大学)
M46a	14:06	白色光フレアにおける白色光発光の起源についての検証	渡邊恭子 (防衛大学校)
M47a	14:18	Quantitative estimation of the energy flux in a white light flare kernel observed by Hinode, IRIS, SDO, and RHESSI	Kyoung-Sun Lee (NAOJ)
M48a	14:30	Flux Eruption にともなう超高温プラズマの生成過程	坂尾太郎 (宇宙航空研究開発機構)
M49a	14:42	太陽フレアにおける紫外線・X 線観測による非平衡プラズマの空間分布	川手朋子 (宇宙航空研究開発機構)
M50a	14:54	デルタ型黒点を持つ四重極活動領域におけるフラックスロープの形成と放出	大井喜智 (東京大学)
M51a	15:06	フレアの頻発する活動領域 NOAA12297 での磁気ヘリシティ入射の測定	長谷川隆祥 (東京大学/宇宙航空研究開発機構)

M01a 衝撃波・乱流の両効果を取り入れた新たな一次元コロナ・太陽風モデル
庄田宗人、横山央明（東京大学）

彩層・コロナ加熱、および太陽風加速を担う加熱・加速機構として磁気流体波動の非線形散逸が有力視されている。この「波動散逸モデル」は20年以上も前から議論されており、幾つかの（自己無撞着な）モデルによって光球での対流運動が励起する波によって自然とコロナや太陽風のような構造が形成されることが示されている。しかしながら、波がどのように散逸するかという問題は完全には解決していない。現在では波の磁気圧による音波の励起や減衰不安定を引き起こす圧縮性過程（衝撃波加熱）およびアルフベン波同士の相互作用によるアルフベン乱流の励起（乱流加熱）が加熱過程として有力視されているが、この両者を取り入れたモデルは未だに存在しない。遷移層の高さや太陽風の速度・密度はどこでどの程度波が熱に変換されるかに強く依存するので、考えられる加熱過程をすべて考えなければ彩層・コロナのダイナミクスを正確に理解することはできない。したがって全ての加熱過程を考慮する必要があるが、それには大規模3次元数値計算が必要であり計算コスト上大変難しい。

私たちは通常の一次元モデル（衝撃波加熱モデル）に現象論的な乱流モデルを取り入れることで、一次元系でありながら衝撃波加熱・乱流加熱の両方を取り入れることのできるモデルを考案した。このモデルは乱流の効果を無視する極限では従来の衝撃波加熱モデルに、圧縮性を無視するような極限では従来の乱流モデルに帰着し、両モデルを統合したモデルと言える。本研究発表ではモデルの物理的解釈とその数値計算結果について議論したい。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

M02a 太陽風の Data-driven modeling における加熱モデルと太陽風構造について

田光江（情報通信研究機構）、田中高史（九州大学、情報通信研究機構）、久保勇樹、巨慎一（情報通信研究機構）

宇宙天気において、コロナ質量放出の伝搬と地球軌道への到達時間は重要な予報項目であるが、これらを精度よく予測するためには伝搬してくる太陽風構造を正確に再現することが重要である。また高速太陽風と低速太陽風からなる太陽風は相互作用によって Corotating Interaction Region と呼ばれる圧縮されたプラズマと高温の領域を形成し、地球磁気圏に擾乱を起こす原因の一つとなる。さらにコロナホールから出される高速太陽風は、回帰性の地磁気擾乱の要因である。

宇宙天気予報のリードタイムを延ばすことを目的に、情報通信研究機構では太陽表面から地球軌道を含む領域のグローバル太陽風シミュレーションモデルの開発を行っている。背景太陽風のこのような構造を再現するために、太陽風を加速して高速太陽風を作る、コロナ加熱を表すモデルを導入する必要がある。一方で加熱のメカニズムはまだ解明されておらず、比熱比を変化させる等、さまざまな手法が模索されている。我々はいくつかのパラメータを含む empirical 加熱モデルを用いているが、その中で加熱領域を表すスケールハイトは高速太陽風の形成と密接に関係している。ここではこの加熱モデル中のパラメータと太陽風構造との関係を調べ、コロナ加熱のモデル化の重要性について考察する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

M03a IPS 観測から得られた太陽風速度とコロナホール面積の関係

徳丸宗利、藤木謙一、里中大紀（名古屋大学宇宙地球環境研究所）、袴田和幸（中部大学）

コロナホールは X 線観測で暗く見える領域であり、単極性の磁場が惑星間空間へ開いている領域であると考えられている。これまでの研究からコロナホールの面積と太陽風速度の間には正の相関があることが知られている。この関係を用いればコロナホール画像の解析から地球へ到来する太陽風を予測することが可能になる。しかし、従来の研究では飛翔体観測による太陽風データが用いられているため、コロナホール観測と正確な対応付けができていなかった。そこで本研究では、名古屋大学宇宙地球環境研究所の IPS 観測データを使ってコロナホール面積と太陽風速度の関係について調査を行った。IPS 観測からは全球面における太陽風速度の分布が得られるので、コロナの磁力線を追跡することによってコロナホールとの正確な対応付けが可能になる。解析に用いた期間は 1995～2011 年（但し 2010 年を除く）である。まず、太陽磁場観測データをポテンシャル磁場（PF）モデル（袴田）を使って開いた磁場の領域を決定し、これをコロナホールと仮定して光球面上のコロナホールの面積を計算した。そして、コロナホールとつながった Source surface の領域における太陽風速度を IPS データから求めた。その結果、太陽風速度とコロナホールの面積の間に良好な正の相関があることが示された。但し、比例係数は過去の研究結果とは異なっている。比例係数は太陽極大期を除けば概ね一定していた。さらに本研究では、PF 解析で得られるコロナホールの面積と He1083nm 観測で見られるコロナホールの面積の比較を行った。その結果、両者は概ね一致しており、一定規模以上のコロナホールは PF 解析から精度よく面積が決定されていることがわかった。本研究で得られた太陽風速度とコロナホール面積の関係は信頼性が高く、宇宙天気予報の精度向上に寄与するものと考えられる。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

M04a 大規模画像データを用いた太陽コロナホールの生成・消滅過程の研究

加納大空、今田晋亮、町田忍 (宇宙地球環境研究所)

太陽からは常に太陽風と呼ばれるプラズマの流れが発生している。太陽風は人工衛星の故障や宇宙飛行士への被爆などを引き起こすことでも知られており、今後宇宙を研究するに当たって太陽風の予測が重要となっている。本研究では太陽風の吹き出し口であるコロナホールと呼ばれる領域に注目している。コロナホール位置や形状は太陽風と密接に関わっているため、コロナホールの生成・消滅のメカニズムを理解することは太陽風の解明の手助けになるといえる。コロナホールを解析するために、本研究では太陽コロナホールの時間変化を追う自動追跡モジュールを作成した。SDO(Solar Dynamics Observatory) 衛星に搭載された AIA(Atmospheric Imaging Assembly) の観測データと 2 機の STEREO(Solar TERrestrial RELations Observatory) 探査機に搭載された SECCHI(Sun Earth Connection Coronal and Heliospheric Investigation) の観測データを用いている。このモジュールは 3 基の人工衛星を使用し太陽 360 度全球を常に観測することで、同一の太陽コロナホールを連続的に追跡することを可能としている。この開発したモジュールを用いて、2012 年 1 月 1 日から 12 月 31 日までの期間、コロナホールの検出・追跡を行った。結果、フレアに伴ったディミング (突発的な生成過程)25 例と、生成から消滅までのタイムスケールが長いコロナホールの生成過程 (徐々に生成する過程)6 例といった 2 種類の生成過程を確認した。本研究ではこの二つの生成過程で作られたコロナホールがどのくらいの割合で通常の太陽風にどの程度貢献しているか、コロナホールの生成プロセスとして両者はどのような関係を持つのか議論する。また SDO 衛星の HMI(Helioseismic and Magnetic Imager) を使用し、太陽磁場観測を行った。追跡したコロナホール及びディミングと同領域での磁場の解析結果、そして両者の磁場構造の考察を報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

M05a NICT 新太陽電波望遠鏡と宇宙天気予報

岩井一正, 久保勇樹, 石橋弘光, 直井隆浩, 巨慎一, 石井守 (情報通信研究機構)

太陽ではフレアに代表される爆発現象が絶えず起きている。この爆発現象に伴い、高エネルギー粒子 (SEP) や、コロナ質量放出現象 (CME) が発生する。これらの一部は地球にも到来し、人工衛星の運用や電波通信に大きな影響を与えることがある。太陽の爆発現象では突発的な電波が放射される (太陽電波バースト)。電波は粒子よりも早く伝搬するため、太陽電波バーストを定常的に観測することは、宇宙天気の予報にとって極めて有効である。

NICT では太陽活動を監視することを目的に茨城県平磯にて太陽の電波観測を行ってきた。今回、より高性能な太陽電波の広帯域分光観測を目指し、観測場所を NICT の山川電波観測施設 (鹿児島県指宿市) に移転するとともに、新しい太陽電波望遠鏡の開発を行った。新望遠鏡には FPGA を用いた高速デジタル分光計を始めとする新しい技術を用いることで、観測性能を従来機の HiRAS に比べて大幅に向上させることに成功した。その結果、70MHz から 9000MHz までの左右両円偏波を時間分解能 8ms で連続的に分光観測することが可能となった。

本望遠鏡では現在試験観測が順調に行われており、本年度中に HiRAS に代わって定常観測観測に投入出来るよう準備が進んでいる。試験観測のデータは既に NICT の宇宙天気業務でも試験的に参照されており、一部のフレア現象については SEP 予報の参考になった例もある。今後はデータの自動解析システムなどソフト面の開発に力を入れ、予報に活用できる機会を増やすと共に、予報精度の向上を目指す予定である。

本公演では、これら新望遠鏡の開発経過と試験観測結果をまとめ、今後の予報向上に向けたソフトウェアの研究開発計画を紹介する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

M06b 活動領域における磁気エネルギーのパワースペクトル解析

川畑佑典 (東京大学), 清水敏文 (ISAS/JAXA)

太陽フレアのエネルギー源である磁気エネルギーは太陽表面、内部でのガスの運動によって蓄積される(シア、回転、磁気浮上)。その結果光球での活動領域の磁場は非常に複雑な分布を示す。この複雑な磁場分布を定量的に評価することは、太陽フレアのエネルギー蓄積過程の理解に重要である。Abramenko et al. (2010)では太陽観測衛星「SOHO」で観測された活動領域の磁気エネルギーのパワースペクトルの解析を行い、べき乗則のスケール指数が大きいほどフレアの規模・発生頻度が大きいという結果を示した。しかし彼らの研究ではパワースペクトルの形状と観測された光球磁場の特徴的構造(黒点の配置、半暗部構造、シア)との関連性の議論は十分にされていない。またSOHOでは視線方向磁場のみしか観測されていない為、磁場のねじれや歪みの指標となりうる光球の水平磁場が無視されている。本研究では垂直方向の磁場に加え太陽観測衛星「ひので」で観測された高精度な水平磁場を用いる。太陽表面の活動領域の磁場のパワースペクトルの形状の時間発展と光球での磁場分布を比較し、エネルギー蓄積過程を議論することを目的とする。

解析対象として2011年2月に複数のM、Xクラスフレアを起こしたAR11158と2016年2月に1度のみMクラスフレアを起こしたAR12497を選んだ。AR11158に関してはひのでによって浮上している時間帯の3成分磁場が取得されており、浮上によるパワースペクトルの変化の議論が可能である。それぞれ垂直、水平磁場のパワースペクトルを計算したところ、AR11158において浮上に伴って水平のエネルギーの方がより増加していることが明らかになった。浮上の際に水平方向のガスの流れにより、磁場の水平成分が増幅されていることを示唆している。本発表では二つの領域のエネルギースペクトルの形状と磁場の2次元構造の違いについても議論を行う。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

M07b 飛驒DST 偏光分光観測によるフレアリボンのHe I 10830 Å線の振る舞い

米谷拓朗、野澤恵（茨城大学）、一本潔、上野悟、阿南徹（京都大学）

フレアは磁気リコネクションによって発生するといわれている。フレアを偏光分光観測することにより得られるストークスベクトルには、磁場が原因で発生するゼーマン効果・ハンレ効果、放射場の非等方性が原因で発生する散乱偏光、速度場の非等方性を持つ高エネルギー粒子の衝突が原因で発生する衝突偏光などが含まれると考えられる。フレア発生による偏光スペクトル形成メカニズムを理解することができれば、これらの効果で構成される信号の重ね合わせを分離することができる。個々の効果による信号を特定できれば衝突偏光から高エネルギー粒子の速度場の理解や散乱偏光から輻射場の非等方性の理解等に繋がる。

我々は飛驒天文台ドームレス太陽望遠鏡を用いて2015年8月9日に発生したCクラスフレアの偏光分光観測に成功した。観測されたフレアリボンの一部分からはHe I 10830 ÅストークスIで輝線が見られ、ストークスVでは輝線ゼーマン効果による円偏光が観測された。また、同時刻、同じ場所のストークスQ, Uでは直線偏光が検出された。本講演では輝線が見られた際のストークスQ, Uの直線偏光が何の効果に由来するものか議論を行う。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

M08b 太陽フレアデータと太陽地球圏環境への影響に関する統計解析

西本将平, 渡邊恭子 (防衛大学校), 今田晋亮 (名古屋大学), 川手朋子 (宇宙航空研究開発機構), Kyoung-Sun Lee (国立天文台)

太陽フレアなどの突発的なエネルギー解放現象により、太陽地球圏環境に大きな影響をもたらすことがある。しかしながら、太陽フレアの規模の指標である軟 X 線強度と太陽地球圏環境への影響の大きさは、あまり比例していない。そこで我々は、太陽フレアの全放射スペクトルを明らかにすることで、太陽フレア現象と太陽地球圏環境への影響の関係の解明を目指している。

本研究では、「ひのでフレアカタログ」に掲載されている太陽フレアのうち、C クラス以上のイベントについて解析を行った。まず、フレアの軟 X 線強度とその位置、継続時間に加え、活動領域の種類と大きさの情報を追加し、これを太陽フレアの基本パラメータとした。

次に、上記のイベントにおける紫外線強度を調べた。太陽フレアに起因し、太陽地球圏環境に影響を及ぼす代表的なものとして、デリンジャー現象が挙げられる。デリンジャー現象は、電離層の下層で電波の吸収が増大することによって起こる通信障害であり、太陽フレアによる X 線及び紫外線の増大がその原因であるとされている。今回は、紫外線領域において高精度で観測が可能である太陽観測衛星 Solar Dynamics Observatory (SDO) に搭載されている Extreme Ultraviolet Variability (EVE) 及び Atmospheric Imaging Assembly (AIA) から得られた観測データを使用した。

本発表では、フレア基本パラメータと紫外線強度との関係を考察し、議論する。今後は、紫外線以外の多波長 (電波、可視光、硬 X 線、高エネルギー粒子等) データについても順次解析していく予定である。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

M09c 彩層分光観測で探る太陽フレアのエネルギー解放過程とダイナミクス

鄭祥子, 坂上峻仁, 浅井歩, 上野悟, 一本潔, 柴田一成 (京都大学), 川手朋子 (宇宙科学研究所), 岡本文典 (国立天文台)

太陽フレアで観測される硬 X 線は、高密領域での高エネルギー粒子による制動放射と理解される。また、白色光増光・彩層スペクトル線の放射は、硬 X 線放射と空間・時間的によく対応する。よってこれらも高エネルギー粒子に関連して生じると考えられる。しかし、観測される硬 X 線や白色光増光、彩層スペクトル線の振る舞いに対する理解は十分ではなく、これらの放射も含めたフレアモデルは確立していない。そこで、高エネルギー粒子の情報を彩層スペクトル線から得ることで、フレア中のダイナミクスとエネルギー解放過程を探る。過去の研究 (Ichimoto and Kurokawa 1984) から、フレア領域を上空から分光観測すると、彩層スペクトル線は強度が大きくなり、長波長側にシフトして非対称になることが知られている。このスペクトル線の振る舞いは Red asymmetry と呼ばれる。Red asymmetry は、上空の磁気リコネクション領域で生成された高エネルギー粒子が彩層に向かって注入し、彩層中で下降流が生じるために、その視線方向成分がドップラーシフトするものと解釈されている。

本研究では、2014年11月11日8時55分 (JST) 頃に活動領域 NOAA12205 (N13W07) で発生した C5.4 のフレアの彩層を、Interface Region Imaging Spectrograph (IRIS 衛星) によって高時間・高空間分解能分光観測した。また、飛騨天文台ドームレス太陽望遠鏡水平分光器 (DST/HS) ではフレア領域の分光スリットスキャンを行った。解析の結果、Red asymmetry が短い時間スケールで変動 (~10 秒) していることが分かった。また、Red asymmetry の前に強度が弱い Blue asymmetry が ~30 秒継続するのが発見された。本講演ではこの結果を示し、それに対する議論を行うことで太陽フレアのモデルに対する新たな示唆を与える。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

M10c **The estimation of CME speed and SEP flux associated with solar superflares**

Takuya Takahashi, Kazunari Shibata (Kyoto University), Yoshiyuki Mizuno (Kyoto women's University)

Recently, many superflares are discovered in sun-like stars from Kepler data. The problem, "whether or not super flares occur on our Sun" is now vigorously discussed throughout solar and stellar researchers. We expect extreme space weather disturbance once such a superflare occurs on our Sun. In order to understand the potential impact of such solar superflares on space weather, we tried to estimate how fast CME will come and how intense radiation flux will be associated with solar superflares. We made a scaling relation that relate flare released energy (flare magnitude) and various physical quantities important in space weather, like CME speed, proton flux etc., and compared the scaling relation with the observation of major solar proton events observed during 1997-2014. The scaling relation we made agreed quite well with the solar observations, although they are just first order approximation and it is necessary to further improve estimation method.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

M11c **The relationship between the spatio-time structure of flare two-ribbon and MHD Kelvin-Helmholtz instabilities in the flaring corona**

Takuya Takahashi, Kazunari Shibata, Ayumi Asai (Kyoto University)

The impulsive nature of magnetic reconnection as an engine of various explosions in the universe is one of the most important problem in plasma astrophysics. On the Sun, the magnetic field energy impulsively released in the corona during solar flares through magnetic reconnection is transferred to the feet of magnetic loops by heat conduction and/or non-thermal electrons heating the chromosphere. The heated plasma forms "two-ribbon" structure at the feet of reconnected magnetic loops as seen from above. The flare two-ribbons seen in chromospheric line emission (such as in $H\alpha$) consist of spatially confined "kernels" which brighten intermittently, and sometimes show "wavy" spatial pattern as a whole. Such an evolution is thought to be a result of MHD instability in the flaring corona, such as Kelvin-Helmholtz instability and plasmoid instability. Such spatio-time structure of flare two-ribbons is certainly a precious key to magnetic reconnection dynamics occurring in the corona, which is very difficult to observe directly due to small spatial scale and low emission. We conducted a 3D MHD simulation of solar flare with heat conduction. The numerical simulation reproduced intermittent chromospheric heating and wavy evolution of flare two-ribbons, which resembles the time evolution of observed two-ribbons. We discuss the relationship between the reproduced two-ribbon evolution and the reconnection dynamics in the corona, especially Kelvin-Helmholtz instability which spontaneously evolve with the existence of the guide field.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

M12b **IBIS – 「ひので」 – IRIS 共同観測による磁束キャンセレーション領域の
3次元磁場構造の理解**

久保雅仁 (国立天文台)

太陽光球で観測される磁気要素は、頻繁に合体・分裂を繰り返し、反対極性の磁気要素が合体する場合は光球から消えてしまう。この現象は、磁束キャンセレーションと呼ばれ、太陽表面における基本的な磁束消失過程の一つである。磁束キャンセレーションの物理過程を理解するためには、高解像度・高精度の光球磁場の観測が重要であるが、この観点で最も性能の高い「ひので」の可視光磁場望遠鏡をもってしても、光球磁場の測定だけでは限界がある(2009年春季年会 M27a、2010年秋季年会 M06b)。そこで、磁束キャンセレーションに伴い、磁力線が3次元的にどのように変化するかを調べるために、米国太陽観測所サクラメントピーク天文台の Interferometric Bidimensional Spectropolarimeter (IBIS) を用いて、Fe I 617.3nm、Na I D1 589.6nm、Ca II 854.2nm の偏光分光観測を実施した。これらの3つ吸収線から、それぞれ、光球・温度最低層・彩層の物理情報(明るさ、磁場、速度場)を抽出することができる。これに加えて、「ひので」衛星で光球の詳細なベクトル磁場情報、IRIS 衛星で彩層・遷移層での増光・速度場の情報を取得することで、磁束キャンセレーション領域を3次元的に診断することができる。第1回目の共同観測を2016年6月1日~6月10日の期間に実施し、数個の磁束キャンセレーションを捉えることに成功した。2つの小さな暗いフィラメントが、異なる方向から磁束キャンセレーション領域に伸びていき、フィラメントの端が引きずり込まれるような運動が見られた。中には、2つのフィラメントがつながって、下向きに凹みのある長いフィラメントが一時的に形成されるものもあった。これは、磁束キャンセレーション領域の光球付近もしくは光球面下でU字型の磁力線構造を持つことを示唆する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

M13b 太陽フレア望遠鏡赤外ポラリメーターで観測したコロナホール

萩野正興, 花岡庸一郎, 末松芳法, 桜井隆 (国立天文台), 大井瑛仁, 一本潔, 大辻賢一 (京都大学), 野澤恵 (茨城大学), 坂江隆志 (浦和西高校)

He 10830Å(以下、He 線) の波長で観測された彩層はとても独特の風景を見せる。たとえば、H α (6563Å) 線像(以下、H α 線)でのプラージュはエミッションで見えるが、He 線では暗い吸収として観測される。一方、極端紫外線などで観測されるコロナホールは He 線では平坦な明るい領域として見える。この He 線は3本のスペクトル線で構成されている。さらに彩層の上部と遷移層の下部付近で形成され、コロナからの照射の影響を受けるなど複雑なスペクトル線であり、地上・衛星観測の双方で注目される研究対象である。

国立天文台太陽フレア望遠鏡の赤外ポラリメーターでは2010年から光球のSi 10827Åと同時に彩層 He 線を観測してきた。この装置では偏光のフルストークス成分が観測され、得られたスペクトロヘリオグラムと視線方向磁場に対応する円偏光成分が太陽観測所のホームページで公開されている。また、これらのデータはプラージュやフィラメントといった彩層の構造の解析に十分耐えるものである。本稿ではこの赤外ポラリメーターで行える研究の一例として、He 線のヘリオグラムを用いたコロナホールの分布の解析を示す。この He 線像でもコロナホールの存在が確認できたが、同望遠鏡で観測される H α 線像では確認できなかった。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

M14b 太陽観測におけるシンチレーションモニタを使用した大気擾乱定量化

山本大二郎、野澤恵 (茨城大学)、一本潔、仲谷善一 (京都大学)、萩野正興 (国立天文台)

天体を地上から観測する際、空間分解能は望遠鏡の回折限界よりもシーイングと呼ばれる地球大気の大気擾乱による影響に依存してしまう。そのため望遠鏡建設の際にはシーイングの小さい立地選択や望遠鏡の構造を工夫などしなければならない。現在でも大気擾乱による影響を定量的に示す研究が進められている。大気擾乱による太陽光強度のわずかな変化から大気擾乱を定量化するシンチレーション観測は、CCD カメラを必要としない。これは他のシーイングモニタとの併用が可能であり、また高度に依存した大気擾乱のパラメータを導出できる。そのことから H.Socas-Navarro et al. (2005) において、現在建設中の口径 4 m の大型太陽望遠鏡 DKIST (Damien K. Inouye Solar Telescope) のサイト調査でシンチレーションモニタ SHABAR (SHAdow BAnd Renger) 用いたことが報告され、シンチレーション観測が太陽望遠鏡のサイト調査において有用であることが示された。

本研究では、これまで行われていない国内の太陽望遠鏡のサイト調査においてシンチレーションモニタによる大気擾乱の定量化システムの確立を目的としている。本公演ではその初期成果として京都大学附属飛騨天文台 SMART に搭載されているものと同型の SHABAR による水戸市上空の大気擾乱を定量化した結果を報告する。可能であれば 8 月に予定している乗鞍観測での結果も含めて議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

M15b Sunrise-3 気球実験による彩層の高解像度・高感度偏光分光観測

勝川行雄, 久保雅仁, 石川遼子, 原弘久, 末松芳法, 鹿野良平 (国立天文台), 阿南徹, 永田伸一, 一本潔 (京都大学), Carlos Quintero Noda, 石川真之介, 清水敏文, 大場崇義 (ISAS/JAXA)

太陽彩層で発生する磁気リコネクションや磁気流体波動といった動的現象の偏光分光観測は、今後の太陽観測の中心課題である。そのため、これまでドイツ・スペインを中心に進められてきた高高度大型気球実験 Sunrise に日本が参加する計画を推進している。Sunrise は口径 1m の光学太陽望遠鏡を搭載し、高度 35km 以上の成層圏から地上では不可能な紫外線観測や大気ゆらぎのない安定した可視・近赤外観測を 24 時間連続 5 日間以上できる。2020 年の実現を目指す 3 度目の飛翔実験 Sunrise-3 では、撮像観測に加え、彩層磁場を観測できる可視光・近赤外の偏光分光装置を新たに搭載し、光球に加え彩層磁場の測定とその動的現象の観測を狙う。視野は 50 秒角四方、空間分解能は 0.2 秒角であり、10–15 秒の積算で彩層磁場観測に必要な 3×10^{-4} の偏光測定感度を達成する。光球・彩層を連続的にカバーする最適なスペクトル線の組み合わせにより、(1) 光球・彩層の 3 次元磁場構造を決めること、(2) 光球–彩層間の MHD 波動伝播と磁場構造の関係を明らかにすること、(3) 彩層ジェットを駆動する磁場構造を特定することを目指す。偏光分光装置は日本が主担当となり、コンポーネントの一部をスペイン・ドイツとの国際協力で開発する。SOLAR-C や CLASP ロケット実験のために開発してきた可動機構や光学技術を発展させるとともに、高速読出カメラとデータ処理装置、熱構造設計などについても技術獲得を目指す。これまでの Sunrise 実験で課題となっていたゴンドラの指向安定度についても、ドイツとアメリカで問題克服のための検討が進められている。各国で計画実現のためのミッション提案を行っており、順調にいけば 2017 年度からプロジェクトを開始できる。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

M16b 太陽用マイクロレンズ面分光データの解析について

末松芳法（国立天文台）

太陽表面で起こるジェット現象やフレアなどのダイナミック現象を的確に捉え、現象の正確な物理量を導出するためには、2次元同時（面）分光を行う必要がある。このため、マイクロレンズアレイを用いた面分光観測手法を実現し、分光器スリット前に付加光学装置を取り付けることで、彩層現象検出に役立つ水素のスペクトル線 H γ 線（656.3nm）波長域で活動領域の観測を実現している。この手法は、マイクロレンズと波長の重なりを防ぐ透過幅の狭いブロッキングフィルター以外は、特別な光学系が必要なく、既存の太陽望遠鏡と分光器に適用できる利点がある。一方、マイクロレンズが作る瞳をスリットの役割を果たすため、マイクロレンズ個々の光学特性、ブロッキングフィルターの局所的な分光透過特性により、個々のスペクトルは特性が違ったものとなる。特に、得られたスペクトル線の解析を行うには、ブロッキングフィルターの分光透過プロファイルの影響を取り除く必要がある。これらスペクトルの較正では、太陽面中心を一樣光源とみなし、構造の影響をなくすため、望遠鏡を動かしながらデータを取得平均し、マイクロレンズの瞳の大きさによる波長分解能劣化を考慮したものを、太陽スペクトルのアトラスと比較する。この手法と得られた結果について説明する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

M17b プラズモイド高速リコネクションにおける動的ペチェック過程の役割

柴山拓也, 草野完也 (名古屋大学), 三好隆博 (広島大学), 中坊孝司 (名古屋大学), Grigory Vekstein (University of Manchester)

磁気リコネクションは太陽フレアにおけるエネルギー変換過程だと考えられている。しかし、磁気流体力学 (MHD) 近似を用いたリコネクション理論によるとエネルギー変換速度は観測に比べてはるかに低い。この「リコネクションの高速化問題」を解決する MHD リコネクション理論としてプラズモイド (磁気島) の発生を伴う高速化理論があるが、プラズモイド生成によりリコネクションが高速化する理由は未だ十分に解釈されていない。

本研究ではリコネクションをおこす電流層全体を含む大きな系での時間発展を再現する 2 次元一様抵抗 MHD 数値実験を行った。これによりプラズモイド生成による高速化が起こる際に局所的にペチェックタイプと呼ばれる、衝撃波を持つリコネクション領域構造が繰り返し出現していることを明らかにした (Shibayama et al. 2015)。次に、ペチェックタイプの構造が出現した部分の物理状態をモデル化した局所モデル数値実験を行った。これによりペチェックタイプの構造が出現するための条件を明らかにした。その条件とは反並行の磁力線の境界面に沿ってプラズマ流が存在するという条件であり、この速度場の中でプラズモイドが成長することで磁気拡散領域の構造に制限を与え、ペチェックタイプの高速リコネクションが実現すると考えられる。これにより本モデルではプラズモイド生成による高速化を電流層の自己無撞着な発展の結果として説明できる。

このように、本高速リコネクションモデルではプラズモイドが重要な役割を果たすが、現実に近い 3 次元空間ではリコネクションは乱流的に発展するためコヒーレントなプラズモイドを形成するのは難しい。本発表では 3 次元 MHD 数値計算における初期的な結果についても報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

M18b 非対称磁気リコネクションに関する新たな知見がもたらすもの

新田伸也（筑波技大）、近藤光志（愛媛大）、丸山翔矢（愛媛大）

講演者らは、電流シートに対して物理量の初期分布が非対称である系で生じる磁気リコネクションの、時間発展の漸近解（自己相似解）としての構造を議論してきた。アネモネ型フレア、地球磁気圏前面、プラズマ風終端衝撃波下流などでのリコネクションは、異種のプラズマが接する場所で生じるため、電流シートの両側の物理量分布が大きく異なっていると考えられる。このような非対称電流シートでのリコネクションについての共通認識と言えるモデルは未だ確立していない。

非対称リコネクションでは、Petschek モデルによって広く浸透した描像とはかなり異なる構造を作る事が講演者らの研究によって判明した：1) リコネクションジェットが加速層と高速層に2層化し、高速層では流れと磁力線がほぼ並行になる。2) 強磁場側プラズモイド中に弱磁場側プラズマが浸入し、これまで知られていなかった接触不連続を生じる。3) 弱磁場側プラズモイド前方にこれまで知られていなかった長大で強い Fast 衝撃波を生じる。

更に顕著な非対称性を持つ場合の漸近的な振る舞いにまで議論を拡張し、非対称リコネクションの描像をまとめた。この非対称リコネクションモデルから演繹される特徴の現象論的意義についても検討した。1) は、リコネクションで生じるアウトフローは磁場と垂直であるはずとの従来の観念を変更する。2) は、プラズモイド構造の崩壊時に、これまで知られていなかった高効率の異種プラズマ混合が生じうる事を示している。3) は、リコネクション・システムでの新たな粒子加速サイトの存在を予感させる。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

M19b 適合格子細分化法を用いた動的な太陽圏モデルの構築

松本倫明 (法政大学), 塩田大幸 (名古屋大学), 片岡龍峰 (国立極地研究所), 宮原ひろ子 (武蔵野美術大学), 三宅晶子 (茨城高専)

太陽活動が気候変動への影響いわゆる宇宙気候にとって、太陽圏外縁を含む太陽圏全体の三次元構造は重要である。太陽活動の変動にともない、太陽圏における太陽風の速度と磁場構造が変化し、それらは銀河宇宙線が太陽圏外から侵入する過程に影響を与える。とくに太陽の双極子磁気モーメントが負極性（北極が負、南極が正の磁場）をもつときには、銀河宇宙線は太陽圏電流シートの中を伝播する。したがって、太陽圏電流シートを高精度で分解する太陽圏モデルを構築することは、銀河宇宙線侵入過程の理解にとって重要である。

そこで本研究では、適合格子細分化法 (AMR 法) を用いて太陽圏の数値モデルを開発している。この数値モデルは銀河宇宙線の伝播への応用を念頭に置いている。本講演では、太陽圏の数値モデルの開発状況を報告する。

太陽圏の数値モデルでは、太陽風モデルを内側の境界条件 $r = 25R_{\odot}$ として与える。太陽風モデルには任意のモデルを組み込み可能であるが、ここでは実際の太陽磁場の観測から再現されたモデルを組み込んだ。空間3次精度の MUSCL 法を用い、時間2次精度の中間ステップ法を用いた。また $\nabla \cdot B$ を消去するために Dedner の方法を採用した。Dedner の方法ではマジックナンバー C_r を与える必要があるが、本研究では C_r を AMR グリッドごとに異なる値を設定し、効率良く $\nabla \cdot B$ を消すことに成功した。

1000 コア以上を用いた大規模な数値シミュレーションを遂行し、太陽圏全体のスケール ($r \sim 100$ au スケール) の太陽圏を計算した。その結果、太陽圏にパーカースパイラルが再現する。一方で、50 au 以遠では数値拡散によってスパイラルがなまることが課題である。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

M20b

インヤン格子による太陽表面磁束輸送コードの開発

飯島陽久, 今田晋亮 (名古屋大学), 堀田英之 (千葉大学), 塩田大幸, 草野完也 (名古屋大学)

太陽周期活動の予測は長期の宇宙天気予報を可能にするために不可欠な課題である。Schatten et al. (1978) は、次期太陽活動度の有力な予測手法として、任意のサイクル極大期における黒点数と前サイクル極小期における極磁場の強度の高い相関を用いることを提案している。これを踏まえて、我々のグループではサイクル極小期における極磁場強度をこれまでより早く予測することを目指している。

本研究では、極磁場の予測を念頭に、太陽表面における動径方向磁場の運動論的な水平輸送を記述する表面磁束輸送コード (e.g., Leighton, 1964; DeVore et al., 1984) を新たに開発した。極付近の小さい計算格子幅による計算量の増加を防ぐため、インヤン格子 (Kageyama & Sato, 2004) を使用し、子午面流、差動回転、および対流運動に由来する乱流拡散の効果を含む。コードは移流問題及び拡散問題に対してテストを行った。講演では、コードの詳細、テスト問題、および本コードを用いた初期成果を報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

M21b 京全ノードを用いた太陽対流層の超高解像度数値計算

堀田英之 (千葉大学), Matthias Rempel(HAO/NCAR), 村主崇行 (理化学研究所), 牧野淳一郎 (神戸大学)

66万を超えるコア数を持つ京の全ノードを用いて、世界最大格子点数の流体力学計算を実行した。太陽内部は数十万 km の空間スケールと数ヶ月の時間スケールを持つ熱対流が存在する対流層の底から、数百 km・数十分の空間・時間スケールを持つ光球までを含み、極端に広いダイナミックレンジを持つ。特に黒点の11年周期を理解するためにはこれら全てのスケールを解像することが必須であるが、計算資源の制約のためにこれまでに実現していない。しかし、2020年に完成予定であるポスト京においては、計算資源だけを見ればこれら全てのスケールを同時に解像することが可能になりうると考えている。太陽深部と光球を同時に解くには、1兆個程度の格子点を用意する必要がある。太陽熱対流の計算でこれまででもっとも大きい計算は Rempel(2014) がおこなった144億格子点である。1兆個の格子点を実現するには、通信不可を抑えた上で京全ノードクラス以上を効率的に使うことが必須となる。これまでに我々のグループで開発・採用している音速抑制法・流体計算スキームではこの要請に応えることができる。これまでに使っていた数値計算コードを、京全体を扱えるだけの性能にアップグレードした上で、4兆3000億格子点の計算をおこなった。この計算では理論ピーク性能比の24%とかなり高い性能を示している。まだ、科学的議論ができるほどの計算時間は稼げていないが、ポスト京時代の数値計算に向けて期待のできる計算実行となったため、その詳細を報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

M22c 活動領域非線形フォースフリー磁場計算システムの開発 2

塩田大幸、草野完也、山本哲也、増田智、今田晋亮(名古屋大学)、井上諭(Max Planck Institute)

太陽フレア・コロナ質量放出は、コロナ中の磁場に蓄積された磁気エネルギーが解放されることで発生する爆発現象である。その現場となるコロナ磁場の3次元構造は直接観測が非常に困難であるため、光球で観測されるベクトル磁場分布に基づく外挿によって上空の非線形フォースフリー磁場(NLFFF)を求める手法が、磁場構造を知る最も有効な手段となっている。現在NLFFF解析は、フレアが発生した活動領域のエネルギー蓄積・解放過程の研究に必要な不可欠なツールの一つとなりつつある。

名古屋大学宇宙地球環境研究所では、前身の太陽地球環境研究所の時代の2012年よりひのでサイエンスセンター@名古屋を運用し、その一環として活動領域のNLFFFを計算する磁場モデルの開発を行ってきた。このモデルは、Inoue et al. (2014)によるデカルト座標NLFFFコードをベースとした球座標NLFFFコードである(山本ら2012年秋季年会M07b、塩田ら2013年秋季年会M20b)。これまでは大規模フレアが発生した活動領域のNLFFFを我々が計算し、その結果を可視化した画像をデータベースとして公開していた。しかし現状の公開方法では利用に困難を伴うため、幅広い研究者が各自で結果を自由に解析できる環境が望まれる。

そこで我々は、2016年度に導入された研究所の新計算機システムを利用して、多くの太陽研究者が容易にNLFFFを計算できる環境の構築を開始した。ひので/SP、SDO/HMIのベクトル磁場観測データに対して、解析を行う研究者が自ら180度不定性の除去を行い、その結果を入力として計算を行うことができる。本講演では、実際のデータを用いた具体的な利用例を示し、マッププロシージャとの重ね合わせなど、本システムで可能な解析について解説する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

M23a 太陽磁場観測を用いた差動回転及び子午面循環流の解析

藤山雅士, 飯島陽久, 今田晋亮, 町田忍 (名古屋大学)

太陽から放出されるプラズマ（太陽風）により地球周辺の宇宙環境は影響を受け続けている。太陽から放出されるプラズマはフレアやCMEなどの現象により、爆発的に放出され、地球及び人工衛星に甚大な被害を及ぼす。また、太陽風の変動全体を宇宙天気と呼び、それを正しく予測するための研究が様々な角度から行われている。太陽地球環境予測研究のひとつに太陽の活動メカニズムの研究が挙げられる。太陽は約11年周期で活動の大きさが変動することが知られており、極大期、極小期を繰り返している。それに伴って太陽風の強さも変動し、極大期にはフレアやCMEも多く起こる。さらに、周期毎に活動の強さが異なることが過去の長期に渡る観測によって報告されている。太陽活動極小期において、極磁場（太陽の北極及び南極の磁場）の強さと次サイクルの太陽活動度には強い相関があることが知られており、現在の太陽活動極小期の極磁場を知る事は次期太陽サイクルを予測するのに有用である。そこで本研究では差動回転、子午面循環流という表面磁束輸送モデル計算により極磁場を見積もるのに重要なパラメータを太陽観測衛星SDO/HMIとHinode/SOTによる磁場観測データから求める。2つの異なる方法(Local Correlation Tracking (LCT)、Magnetic Element Tracking (MET))で観測データからパラメータを算出するモジュールを開発し、実際のデータ解析に用いた。2010年から2015年までのLCTによる解析によって、差動回転の速度は $\omega(\theta) = 14.43 - 1.77 \sin^2 \theta - 2.58 \sin^4 \theta$ [deg/day] (θ :緯度) という結果が得られた。これは先行研究(Komm et al. (1993))の結果とよく一致する。一方METで得た差動回転の速度はLCTと比べ赤道付近でおよそ2%小さい値をとった。このような両者の方法での結果の違い・特徴について議論を行う。また、太陽周期活動に伴って、自転速度、子午面循環流の速さがどのように変化するか議論する。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

M24a ひので極域磁場観測を用いた太陽極域自転速度測定

塩田大幸（名古屋大学）、下条圭美（国立天文台）

太陽は緯度毎に自転速度が異なり、赤道が最も速く高緯度ほど遅く自転している。この差動回転は、子午面還流とともに、太陽の磁場を作り出す太陽ダイナモに最も重要な役割を果たしている。

自転速度はこれまで、黒点などの磁場のトラッキング、太陽表面のドップラー観測、日震学といった複数の手法で観測が行われてきた。特に日震学によって、太陽内部の動径方向・緯度方向の自転速度の分布が明らかにされている (Thompson et al. 1996)。また、太陽周期活動とともに平均の自転速度分布が変動し、低緯度に向かって伝搬していることも知られている (Howard and LaBonte 1980)。しかし、日震学では、太陽円盤中心から遠くなるに従って観測精度が下がるため、高緯度の太陽極域内の自転速度については正確な理解には至っていない。

そこで本研究では、ひので可視光磁場望遠鏡 (SOT) 偏光分光装置 (SP) で観測された磁場データ、特に2012年から継続されている太陽極域集中観測 (HOP206) で得られたデータを用いて、磁気要素 (磁気パッチ) のトラッキングにより太陽極域内の自転速度分布を測定した。トラッキングを高精度で行うためには、正確な太陽面内の位置情報が不可欠であるが、SPはスリットスキャン観測を行うため各観測の位置情報は正確にはわからない。そこで、SDO衛星HMI装置で観測された視線方向磁場データを基準として位置合わせを行うことで十分な精度で測定を行うことが可能になった。極性反転前の2012年4月および極性反転後の2016年3月の南極の磁場データから緯度70度以上の極域の平均自転速度を測定したところそれぞれ313 nHz、336 nHzであった。講演では、他の観測で得られた自転速度との比較および、太陽周期活動・極性反転との関係性、測定誤差からの考察について議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

M25a 抑制効果を取り入れたMHD磁束輸送ダイナモ

市村千晃, 横山央明 (東京大学)

本研究では Rempel (2006) のモデルに基づいた上で、あらたに「抑制」の効果を導入した「磁束輸送ダイナモ」のシミュレーションを行った。磁束輸送ダイナモは太陽の周期的な磁場活動を良く説明する理論モデルとして知られている。このモデルに基づく研究の多くは、速度場への揺り返しを考慮しない運動学的な枠組みで解いている。一方で非運動学的な枠組みでは、誘導方程式とナビエ・ストークス方程式を両方解くことにより、磁場とプラズマの速度場を両方解く。Rempel (2006) は非運動学的枠組みでシミュレーションを行い、速度場に対する磁場の揺り返しの存在下であっても、磁束輸送ダイナモはうまくはたらくことを示した。強い磁場の存在下では、太陽ダイナモで用いられる乱流による磁気拡散が弱められることが知られている。この現象は抑制と呼ばれ、磁場を増幅する機構として知られている。運動学的ダイナモにおける抑制の役割は過去に研究されているが、非運動学的な磁束輸送ダイナモの枠組みでの研究はなされていない。抑制によって増幅された磁場は速度場に対してより強い揺り返しを行うと考えられる。この効果を調べるために磁場と速度場を両方解く非運動学的ダイナモのシミュレーションを実施した。

シミュレーションの結果、非運動学的枠組みにおいても抑制による磁場の増幅がおこることが分かった。ただし増幅された磁場は、より強い速度場への揺り返しを発生し、差動自転の時間変化(いわゆる「ねじれ振動」)の振幅が、観測よりも大きくなるという結果も得られた。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

M26a 平均場モデルに基づいた2セル型太陽子午面流の研究

戸次宥人、横山央明（東京大学）

太陽の大規模対流構造（差動回転・子午面流）は対流層内部での磁場の生成・維持機構（ダイナモ）を理解する上で本質的に重要であると考えられている。これまでの多くの磁束輸送型ダイナモモデルに基づいた運動学的ダイナモシミュレーションでは、赤道方向への黒点移動を説明するために対流層の底で赤道に向かう流れを持つ1セル型の子午面流が仮定されてきた。しかし、近年の日震学的観測結果によって新たに対流層の底で極へ向かう流れを持つ対流セルの存在が示唆され、この前提が成り立たない可能性が出てきた（Zhao et al. 2013）。この2セル型子午面流がどのような物理機構で維持されるのかを考察することは、従来の磁束輸送型ダイナモの枠組みを検証するための第一歩として大きな意味があると考えられる。

本研究では、磁場を入れずに、乱流角運動量輸送の効果をモデル化した平均場流体シミュレーションを行うことによって自己無頓着な差動回転と子午面流の構造を求め、2セル子午面流が日震学的観測から知られているような太陽差動回転とバランスして定常状態が達成されるのかどうかを調べた。その結果、対流層の下部で $\langle v'_\phi v'_r \rangle > 0$ 、上部で $\langle v'_\phi v'_r \rangle < 0$ となるレイノルズ応力による角運動量輸送が働けば、定常的な2セル子午面流が達成されることがわかった。これは、対流層中層に集められた角運動量を子午面流の移流によって再分配する効果によるものである。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

M27a 磁場の効果を中心とした太陽オーバーシュート層の精密な調査

堀田英之 (千葉大学)

高解像度計算を用いて、太陽の対流層と放射層の間にある層、オーバーシュート層の精密な調査をおこなった。太陽の対流層と放射層の間にあるオーバーシュート層は、恒星内部研究やダイナモ研究において、重要な層であるが、非常に小さい空間スケールの中で時間スケールが急激に変わるそうであるために、現在でも、どのような物理状態になっているかの理論が確立していない。大雑把な理解としては、対流層で発生した熱対流が、温度勾配の変わる放射層で浮力によりブレーキをかけられ、運動エネルギーを失うというものである。本研究では、これまでになく太陽に近いパラメータを採用しつつも高解像度化することで小スケールダイナモの効果を調査した。これまでの我々の研究グループの調査により、小スケールの磁場は太陽対流層内部で乱流の運動エネルギーに匹敵するほど活発であり、大スケールダイナモにも影響を与えることがわかっている。これほど強い磁場ならば、オーバーシュートにも強い影響を与えられようと考えられるために調査した。調査の結果は以下である。磁場の存在自体はほとんどオーバーシュートの位置を変えない。しかし、これまでの浮力によってブレーキをかけられていた熱対流が、ローレンツ力によってほとんどの運動エネルギーを失っていた。その結果、磁場のない時のエンタルピーの余剰は磁場のない時に比べてかなり小さいものとなり、日震学による調査を難しくしているかもしれない。また、オーバーシュート層での磁場の傾きは、太陽に近づけるように放射層を硬くしていくと、ほぼ水平に近くなっていった。これまでの放射層を含めない計算で、水平磁場のみを残す境界条件を用いていたことは妥当であったと言える。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

M28a 次期太陽周期活動の予測に向けて

今田晋亮、飯島陽久（名古屋大学）、堀田英之（千葉大学）、塩田大幸、加納大空、藤山雅士、草野完也（名古屋大学）

我々が生きる太陽地球圏の環境は太陽活動に起因して大きく変動することが知られており、幅広い宇宙利用と高度な情報化が進んだ現代社会において太陽地球圏の環境変動を予測することが非常に重要な課題となっている。現在、我々は「太陽地球圏環境予測：我々が生きる宇宙の理解とその変動に対応する社会基盤の形成」(PSTEP)という研究プロジェクトを推進しており、太陽地球圏環境予測という課題に組織的に取り組んでいる。このPSTEPプロジェクトの一環として、次期太陽サイクル(25)の活動度を予測することを目指している。これまで、世界的には様々な研究者が太陽周期予測研究に挑んできたが、残念ながら現在のところ確実な予測は3年前程度に限られている。そこで我々は、表面磁束輸送モデル(Surface Flux Transport code)の数値計算コードを開発し、ひので、SDOさらに地上観測データをインプットとして太陽極小期の極域磁場(サイクル24)を予測し、これまでよりも早い段階(5年前)での次期太陽サイクルを予測することを目指す。本講演では次期太陽周期活動予測研究計画の全体像を説明する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

M29a 京都大学飛騨天文台 SMART 望遠鏡 SDDI(新全面像速度場撮像装置) による観測

石井貴子, 一本潔, 大辻賢一, 永田伸一, 木村剛一, 仲谷善一, 金田直樹, 廣瀬公美, ほか SMART チーム (京都大学・理・天文台)

京都大学飛騨天文台では、太陽から高速で飛び出すフィラメント放出現象を観測するために、従来より広い速度範囲をカバーする全面像速度場撮像装置 (Solar Dynamics Doppler Imager; SDDI) を 2016 年 4 月末に SMART 望遠鏡 (T1:口径 20cm) に新設した。

従来の観測は、Lyot フィルターを用いた波長制御と 4K CCD カメラによる波長点数 7 点 (H-alpha 中心および $\pm 0.5, 0.8, 1.2 \text{ \AA}$)、視野 2300 arcsec^2 (ピクセルサイズ 0.56 arcsec/pix)、時間分解能 1-2 分であったのに対し、SDDI は、液晶による波長制御を行う複屈折フィルター (TF40, 大辻ほか本年会 V2) と 100 frames/sec の高速撮像可能な 2K CMOS カメラにより、波長点数 65 点 (H-alpha $\pm 8 \text{ \AA}$ の範囲を 0.25 \AA 刻みに観測)、視野 2520 arcsec^2 (ピクセルサイズ 1.23 arcsec/pix)、時間分解能約 30 秒で観測を行う。これにより、従来の装置で観測できるフィラメントの噴出速度は最大 55 km/秒 だったのに対して、新装置では、最大 370 km/秒 まで捉えることが可能となった。

装置の初期調整を行っている中、2016 年 5 月 4 日、太陽の東縁で、秒速 180 km のフィラメントの高速運動を観測した。その後も、サージ、フィラメント活動など多くの現象が観測されている。本講演では、装置の概要と観測された活動現象について紹介する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

M30a 飛騨天文台 SMART 望遠鏡を用いた高速成分を伴うフィラメント活動現象の発生頻度解析

廣瀬公美, 一本潔, 石井貴子, 浅井歩, 大辻賢一 (京都大学・理・附属天文台), 北井礼三郎 (佛教大学), 京都大学 SMART チーム

太陽のコロナ中に浮かぶフィラメントは、周囲に比べて低温で高密なプラズマ塊である。フィラメントはそれを支える磁場構造が不安定になると高速で運動し、その結果「消失」することがある。特に宇宙空間に噴出することによるフィラメントの消失はコロナ質量放出 (CME) を伴うことが多く、宇宙天気の重要である。

飛騨天文台 SMART 望遠鏡は太陽全面を $H\alpha$ 線中心だけでなく、そのウィングでも観測していて、ドップラー効果により運動するフィラメントの視線方向速度を求めることができる。2005年4月1日から2014年10月7日までのおよそ10年間で、SMART 望遠鏡の $H\alpha$ 線中心の日毎画像から、1276例のフィラメント消失事象がとらえられた。

一方、SMART 望遠鏡には2016年4月末に Solar Dynamics Doppler Imager (SDDI) が新設され、 $\pm 8.0\text{\AA}$ というウィングの領域の観測が可能になり、より高速な視線方向速度を持つ運動をとらえることが可能となっている。これにより 150km/s 以上の視線方向速度運動も1日に数例程度という高い頻度で起こっていることが明らかになった。

本講演では $H\alpha$ 線中心の日毎画像を見比べてフィラメント消失を抽出した場合と $H\alpha$ 線ウィングのムービーを見てフィラメントの高速運動を抽出した場合のイベント数を比較し、従来の統計解析の妥当性について考察する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

M31a フィラメント噴出とそれに関連するフィラメントの特徴について

関大吉, 磯部洋明 (京大総合生存学館), 廣瀬公美 (京大理)

太陽コロナ中の低温高密帯状プラズマであるフィラメントは、しばしば磁場構造の不安定化により噴出する。これによりコロナから大量のプラズマ粒子が惑星間空間に放出(コロナ質量放出という)され、場合によっては人工衛星の故障や地磁気の乱れによる大規模停電を引き起こす。この社会的影響を最小限に抑えるためには、フィラメント噴出を予測することが重要となる。

過去の研究において、コロナ質量放出は活動領域が大きいほど発生しにくいという統計的示唆や、フィラメントがしばしば噴出直前において振動や激しく動く様子が確認されている。そのため、もしフィラメントの大きさや活動といった特徴をその噴出と関連付けられれば、フィラメントの観測を噴出予測に役立てられる可能性がある。また、フィラメントの活動の様子は地上で詳細に観測可能であり(京大飛騨天文台 SMART 望遠鏡)、人工衛星だけに頼らない、地上観測に基づく予測方法構築の可能性も期待出来る。

こうした背景に基づき、本研究では京都大学飛騨天文台 SMART 望遠鏡の太陽全面の $H\alpha$ 線撮像データと SDO/AIA の太陽全面の波長 304\AA 紫外線撮像データを用いて、SMART 撮像データ上でフィラメントが消失した 160 例に対し、実際に SDO/AIA で噴出を確認できた割合(以下、噴出率)、フィラメントの大きさ、存在領域、噴出直前の動きについて調査した。その結果、全体の噴出率は 35.6%、フィラメントの長さ l 別に、大 ($l > 2.5 \times 10^8 \text{m}$)、中 ($2.5 \times 10^8 \text{m} > l > 1 \times 10^8 \text{m}$)、小 ($1 \times 10^8 \text{m} > l$) と分けると、大の噴出率は 68%、中 32%、小 27% となり、大きいものほど噴出率が高い結果となった。以上のような種々の統計結果から、フィラメント噴出予測に役立てられ得るフィラメントの特徴について議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

M32a 放射凝縮による太陽プロミネンス形成の3次元MHDシミュレーション

金子岳史, 横山央明 (東京大学)

太陽プロミネンス形成の新たなモデル(リコネクション凝縮モデル)を、非等方非線形熱伝導と放射冷却を考慮した3次元MHDシミュレーションにより実証する。

プロミネンスの形成モデルは未だ確立されていないが、候補の一つとして放射凝縮モデルがある。コロナは強い熱伝導により熱的に安定に保たれているが、何らかの理由により熱不安定が生じ、コロナプラズマが放射により急激に冷却されて凝縮し、プロミネンスになるという説である。我々は先行研究において、リコネクションによる磁場のトポロジー変化が放射凝縮を引き起こすモデルを提案し、熱伝導と放射冷却を考慮した2次元MHDシミュレーションによって実証した(Kaneko & Yokoyama, 2015)。本研究ではこのモデルを3次元へ拡張する。2次元モデルの問題点は熱伝導の向きに制約があることである。コロナでは熱伝導は磁力線に沿った方向に3次元的に働くが、2次元モデルではトロイダル磁場方向(磁束管の軸に平行な成分)の熱伝導が考慮されない(すべての物理量がトロイダル磁場の方向に一様と仮定しているため温度勾配がない)。これは、磁束管が無限の長さを持ち、トロイダル磁場方向の熱伝導は極めて小さいと近似していることに相当する。現実のコロナ内の磁束管は有限の長さを持ち、トロイダル磁場方向の熱伝導が低温化を妨げ得るため、本モデルを3次元へ拡張すると凝縮が発生しない可能性がある。本研究では3次元シミュレーションによりリコネクション凝縮モデルの有効性を検証した。結果、リコネクションによって複数のアーケード磁場が繋がって十分長い磁力線(磁束管)が形成されれば放射凝縮が発生し、プロミネンスが形成されることを実証した。プロミネンスプラズマは磁束管の軸に沿って分布し細長いフィラメント型の形状になるので、観測されるダークフィラメントの形態学的特徴も説明できる。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

M33a **Coronal MHD shock-prominence interaction**

Takuya Takahashi, Kazunari Shibata, Ayumi Asai (Kyoto University)

Flare-associated coronal shock waves propagate globally in the solar corona and sometimes interact with solar prominence far from the flaring active region, leading to large amplitude prominence oscillations. Such shock-prominence interactions are the only phenomena where we can follow the time evolution of shock-cloud interaction in cosmic plasmas. Coronal shock-prominence interactions share lots of common features with interstellar medium (ISM) shock-molecular cloud (MC) interactions, which has long been discussed as one of the most basic problems in interstellar gas dynamics. In the talk, we discuss how coronal shock momentum is transferred to the prominence with the help of 3D MHD numerical simulation of shock-prominence interactions. We also construct a phenomenological model of the prominence acceleration by shock injection and compare it with the simulation results. We found that the magnetic tension force plays the most important role in accelerating the prominence, while the fluid drag force, which is important in accelerating MC shocked by ISM shock, does not play the leading role in prominence acceleration. Also, the coronal shock excites chaotic flow inside the prominence, which damps in an exponential manner with the help of Lorentz force. The solar corona is full of MHD waves excited by photospheric movement and small scale magnetic explosion in the solar corona (nano-flares). We discuss possible roles of wave-prominence interactions in exciting small amplitude oscillations and chaotic flows within the prominence which are recently studied vigorously with the help of high resolution observations such as by *Hinode* and *SDO*.

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

M34a 太陽フレア予測のための特徴量の重要度と評価手法考察

西塚直人, 久保勇樹, 田光江, 巨慎一, 石井守 (情報通信研究機構 電磁波研究所), 杉浦孔明 (情報通信研究機構 先進的音声翻訳研究開発推進センター)

太陽フレア発生機構は、太陽物理の長年の未解決問題である。我々は、活動領域の光球ベクトル磁場と彩層発光、および軟X線放射量をもとに特徴量を抽出し、統計的機械学習によってフレア発生を予測するモデルを開発した(日本天文学会 2016 年春季年会 西塚ら)。観測データベースは 2010 年から 2015 年に取得された SDO 衛星の光球ベクトル磁場、視線方向磁場、彩層低部発光 1600Å、および GOES 軟 X 線放射のデータをもとにし、活動領域を自動検出し、さらに特徴量データベースを作成する。50 程の特徴量をもとに機械学習してフレア予測を行い、人手による予測よりも精度の良い予報を達成することに成功した。

本講演では、何がフレア予報にとって重要な特徴量であるかに着目する。機械学習法の 1 つ、Extra Random Trees により特徴量の重要度を測ることができる。その結果、おおよそフレア履歴、前日の X 線量、磁気中性線の情報、磁束量、彩層発光面積、磁場強度という順で重要であることがわかった。さらにリアルタイム予報の評価法について 3 通りの試行実験を行った。1 つ目は全データをフルシャッフルして学習・テスト用データへ分割。2 つ目は 1 週間のうち決まった曜日 1 日をテスト用データ、他の 6 日分を学習用データとした分割。3 つ目は 1 週間のうち決まった曜日 1 日をテスト用として、その前後の曜日を除いた 4 日を学習用データとした。3 つ目のサンプリングでは、完全に学習用データのフレアとテスト用データのフレアとは別物になり、予測が最も難しい。フルシャッフルでは TSS が 0.9 を超える精度であるのに対し、2 つ目の評価法では 0.5-0.9、3 つ目では 0.2-0.3 と下がる。本講演では、特徴量の重要度と、評価手法についての考察結果を述べる。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

M35a プラズマのための磁気流体力学

柴崎清登 (太陽物理学研究所)

磁気流体力学 (MHD) にはプラズマの持つ重要な性質である磁気モーメントが含まれていない。磁気モーメントは角運動量と同様に荷電粒子が磁場から受け取るものであり、粒子間衝突によって消えることはない。しかし、MHD は液体金属などの導電性流体と磁場の相互作用を記述するために考案されたものであり、磁気モーメントが含まれていない。よって MHD をプラズマに適用するには制限があり、MHD の創始者である Alfvén の教科書にはこの旨が記載されている。最近の MHD の教科書でも、その初めの部分に表現方法は異なるがそのことに触れている。「プラズマベータ (= ガス圧 / 磁気圧) が 1 より十分小さい」とか、「プラズマの透磁率は真空の透磁率で近似できる」等である。プラズマが液体金属と異なるもうひとつの性質としてドリフト運動がある。荷電粒子に電気力が働くとプラズマは全体として電場と磁場の両方に直交する ($\mathbf{E} \times \mathbf{B}$) 方向にドリフト運動し、電荷の符号に依存しない力 (重力など) が働くとドリフト電流を発生してそのアンペール力 ($\mathbf{J} \times \mathbf{B}$) が反作用となる。これらの性質を既存の MHD 方程式に追加することにより、高ベータプラズマにも使えるようにすることを目指す。その際、粒子的性質だけでなく流体としての統計的性質を加える。また、磁気モーメントやドリフト運動による電流はまわりの磁場に依存するとともに、これらの電流が磁場の発生源となるので、自己整合的に磁場・電流を決定する必要がある。しかもこれらの電流は電場に関係しないのでオームの法則が適用できず、電流が磁場に直交する方向に流れるので磁場はフォースフリーではない。さらに、MHD が持つ古典電磁気学との因果律の逆転 (電流と磁場) を解消する必要がある。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

M36a 太陽電波ゼブラパターンの統計的偏波特性-II

金田和鷹、三澤浩昭（東北大学）、岩井一正（NICT）、土屋史紀、小原隆博（東北大学）

太陽電波 IV 型バースト中に観測される多様な微細構造はフレア発生領域におけるプラズマ素過程を理解する上で重要な情報源である。それら微細構造のひとつであるゼブラパターンは長年研究されているが、その放射過程については多数のモデルが存在しており、未だに議論が続いている。ZP の未解明問題のひとつとして、偏波特性の決定要因が挙げられる。プラズマ放射を仮定すると、ZP の円偏波率は 100 % であると考えられるが、実際の円偏波率はしばしば 100 % より低い値で観測される。このことから、伝搬過程において何らかの Depolarization 作用を受けていることが示唆されるが、その物理過程は解明されていない。Kaneda et al. (2015, ApJL) では ZP の 2 種の円偏波成分間の到達時間差の解析により Depolarization が放射源付近で起きている可能性を示したが、1 例のみの結果であり、その一般性は不明であった。本研究では、ZP の一般的特徴とその Depolarization 過程を明らかにするため、偏波特性の統計解析を行った。

東北大学の所有する太陽電波観測装置 AMATERAS によって 2010 年 10 月以降に観測された 21 例の ZP を解析した結果、14 例のイベントにおいて、卓越する円偏波成分、および、遅延が生じる成分とその電磁波モードとの関係は、先行研究で示された理論と矛盾しないものであった。また、円偏波率と遅延時間差には正の相関関係 ($r=0.66$) があることがわかった。筆者らは、プラズマ密度境界での反射による Depolarization を仮定した場合、円偏波率と遅延時間差の関係は反射の回数によって決まる可能性を示唆した。(2016 年春季年会 M27a)。本講演では、反射による Depolarization 過程について、モデル計算による検証の結果と考えられる反射回数の決定要因について議論する。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

M37a CLASP の高速分光観測で探る太陽彩層に偏在する高速伝播現象

久保雅仁, 勝川 行雄, 末松芳法, 鹿野良平, 石川遼子, 成影典之, 坂東貴政, 原弘久, (国立天文台), 石川真之介, 常田佐久 (ISAS/JAXA), G. Giono(総研大), A. Winebarger, K. Kobayashi (MSFC), J. Trujillo Bueno (IAC), F. Auchere (IAS)

観測ロケット実験 CLASP に搭載された slit-jaw 光学系 (SJ) による、Ly α 輝線 (121.567nm) 波長域での太陽彩層の 2 次元像の観測で、数パーセント程度の明るさの変動のパターンが、150km/s 以上という非常に速い速度で一方向に伝わっていく現象が発見された (2016 年春季年会 M02a)。今回は、CLASP の偏光分光装置で得られた、0.3 秒という非常に高い時間分解能を持つ分光データを用いて、SJ で発見された高速伝播現象に伴う輝線の時間変動を調べた。まず、Ly α 輝線を波長方向に積算して、スリットの沿った明るさの時間変動を見ると、SJ の結果と同様にスリットに沿って伝播する明るさの変動パターンがあることが確かめられた。次に、SJ で同定された高速伝播現象が、スリットを横切る時間帯の Ly α 輝線のドップラーシフトを調べたところ、150km/s を超えるような顕著なシフトは見られなかった。Ly α 輝線は、輝線幅が大きい上に、輝線中央にへこみ (自己吸収領域) を持つ、2 つ山の形をしているため、ドップラー速度の測定が難しい。そこで、Si III (120.65nm) 輝線を使ってドップラー速度を調べたが、 ± 10 km/s 程度の速度しか検出されなかった。これらの結果は、SJ で発見された高速伝播現象が、150km/s 以上のプラズマ運動ではなく、波の様な明暗のパターンの伝播であることを支持する。また、高速伝播現象とは無関係ではあるが、Ly α 輝線の 2 つの山が 30 秒程度の時間間隔で交互に明るくなることを発見した。これは、輝線中央の自己吸収領域が短い周期で赤方・青方偏移を繰り返しているためではないかと考えており、彩層上部・遷移層での何らかの振動現象に関係している可能性がある。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

M38a **CLASP/SJ による太陽活動領域におけるライマンアルファ線の時間変動観測**

石川真之介 (ISAS/JAXA), 久保雅仁, 勝川行雄, 鹿野良平, 成影典之, 石川遼子, 坂東孝政 (NAOJ), A. Winebarger, K. Kobayashi (NASA/MSFC), J. Trujillo Bueno (IAC), F. Auchère (IAS)

太陽ライマンアルファ線観測ロケット CLASP (2015/9/3 打ち上げ) に搭載されたスリットジョー光学系 (SJ) の観測では、0.6 秒間隔という非常に短い時間間隔での観測により、彩層で 1 分間以下のタイムスケールの時間変化が数多く発見された (2016 年春季年会講演 M02a にて久保他が発表)。CLASP/SJ の視野には活動度の低い活動領域が含まれており、この振動現象は活動領域と静穏領域の両方で見られたが、今回我々は特に活動領域に注目してライマンアルファ線での時間変化の詳細と SDO/AIA で観測された活動領域の空間構造との関係を調べた。ライマンアルファ線での時間変動は主に 30 秒程度のタイムスケールであり、放射強度の絶対値が大きいほど変動が大きいという関係がわかった。静穏領域の場合とは異なり、明らかに水平方向に伝搬していくようなイベントは発見されなかった。SDO/AIA と比較した結果、ライマンアルファ線の時間変動と対応するコロナの放射の変動は見られなかった。また、 193 \AA で観測された高温ループの足元と、 171 \AA で観測された低温ループの足元でのライマンアルファの時間変動を比較したところ、有意な差は見られなかった。この結果は、このライマンアルファ線の 1 分以下のタイムスケールの時間変動が、コロナループの加熱に直接関与しているわけではないことを示唆すると考えられる。本講演では、この現象についてこれまでにわかった性質をまとめるとともに、物理的描像を明らかにする手がかりを探る。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

M39a ねじれた磁力線を伴う彩層ジェットの数値シミュレーション

飯島陽久（名古屋大学）、横山央明（東京大学）

スピキュールに代表される太陽彩層ジェットは、彩層で最も普遍的な構造の一つであり、太陽大気のダイナミクスやエネルギー輸送を考える上で重要な位置を占める。彩層ジェットの形成過程としては、音波、アルフベン波、磁気リコネクションなどが提案されている。特に活動領域ダイナミックフィブリルなどの比較的小さいジェットに関しては、近年音波由来の起源を示すとする研究が多く報告されている。一方、静穏領域やコロナホールで見られる比較的高速なジェットでは、磁気リコネクションなどのより強力な加速機構が有望視されているが、表面对流を含む3次元輻射磁気流体シミュレーションでは、なかなか背の高いジェットが形成されていなかった。

我々は数値拡散の少ない磁気流体スキームを用いた3次元輻射磁気流体シミュレーションを行い、太陽静穏領域における彩層ジェットの形成過程を調べた。シミュレーションは Spitzer 熱伝導、輻射加熱・冷却、重力、部分電離の熱力学効果などを含む。計算ボックスはコロナ下部から対流層上層までを含み、対流運動により自発的にエネルギーを上層大気へ注入する。その結果、大きさ 10-11 Mm、寿命 8-10 分という静穏領域スピキュール同程度の背の高い彩層ジェットが形成された。形成されたジェットは強い光球磁場の上空に位置し、彩層において強い渦構造と非常にねじれた磁場構造を持つ。また、ジェットはその強い回転運動に伴い微細構造を形成しながら加速されていた。講演では、ジェットの加速機構の詳細や観測結果との比較を紹介する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

M40a 太陽ジェット二段階加速の観測とその物理機構についての考察

坂上峻仁, 鄭祥子, 浅井歩, 上野悟, 一本潔, 柴田一成 (京都大学)

太陽では、大気下層のプラズマが上空へ噴出するジェット現象が観測されている。この現象は、大気中の磁気エネルギーが突発的に解放される現象に附随して発生し、その噴出流は圧力勾配力や磁気力などによって駆動される (Shibata et al. 2007)。近年、3次元高解像度の数値計算手法の確立により、ジェットの3次元的形態や詳細な内部構造の再現を試みた数値実験が盛んになされている (e.g. Archontis & Hood 2013)。観測されているジェットの中には、ねじれの運動を示すものや、ジェット内部でプラズマが塊状の構造を成しているものなどがあり、その発現機構の解明が目指されている。一方で、ジェットの形態・内部構造を観測から定量的に理解するという試みは未だ数少ない (e.g. Cheung et al. 2015)。ジェット内部の物理量の空間分布を診断するためには分光観測が必須だが、ジェットのような突発現象にあって、それを成功させることには観測的困難が伴うからである。

こうした研究動向を背景に、我々は2014年11月11日に京都大学附属飛騨天文台ドームレス太陽望遠鏡で分光観測することに成功したジェット現象のデータ解析に着手した。観測で得られたデータは、 $H\alpha$ 線に関する高波長・高空間分解能のスペクトロヘリオグラムで、ジェットの噴出過程を高時間分解能でとらえている。スペクトル解析により、このジェットの視線速度、光学的厚さなどの空間分布を導出したほか (坂上他 2015 秋季年会)、ジェットの加速度の空間分布を初めて導出した。得られたジェットの加速度場の中で、我々は、ジェット内部の一部のプラズマが、上空へ噴出後、二度目の加速を受けていることを発見した。本講演では、このジェットの二段階加速の発見を報告し、その物理機構についても議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

M41a **Various Chromospheric Heating Events in Emerging Flux Regions**

Shin Toriumi, Yukio Katsukawa (NAOJ), Mark C.M. Cheung (LMSAL)

Emerging flux regions (EFRs) are known to exhibit various sporadic local heating events in the chromosphere. In order to investigate the characteristics of such events, particularly of their relation with magnetic context, we analyzed Hinode-IRIS coordinated observation data of a newly emerging flux region in NOAA AR 12401 (August 19, 2015). Out of 151 small brightenings identified in Hinode/SOT Ca images, we show the analysis results of 29 events that were overlapped by an SOT/SP scan. Here, 7 events were found to possess mixed polarity backgrounds. The Mg II h&k and other UV spectra of the mixed-polarity events obtained by IRIS had enhanced and broadened profiles that are highly suggestive of bi-directional jets. Their light curves showed flare-like, fast-rise-extended-decay patterns with durations of 10–15 minutes. Moreover, the high-resolution vector field data by SOT/SP revealed that most of these events were dominated by “bald patches,” the dipped curvature field lines. The other 22 events, on the other hand, were found in unipolar regions, mostly at the periphery of the EFR. These events were generally weaker in UV intensity and exhibited systematic redshifts with Doppler speeds up to about 35 km/s (Si IV), which is approximately the local sound speed. In both types of events, the Mg II triplet showed enhanced intensities in emission, indicating a sudden temperature increase in the lower chromosphere. These observational results support the picture that heating events in the EFR center are due to magnetic reconnection between colliding magnetic elements of opposite polarities (i.e. Ellerman bombs), while the peripheral heatings are caused by fast downflows along the arch filament systems.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

M42a 次期太陽観測衛星計画 SOLAR-C : 科学目的の尖鋭化

原 弘久 (国立天文台), ほか SOLAR-C WG (ISAS/JAXA)

平成 26 年度の JAXA 戦略的中型衛星公募に提案した SOLAR-C 計画では、太陽表面から惑星間空間までに現れるプラズマダイナミクスを一つのシステムと捉えて理解すること、太陽観測により普遍的に現れる宇宙プラズマの素過程を解明すること、そして人間社会に影響を与える太陽の磁気活動の理解と予測に貢献することを大きな柱として、(I) 彩層・コロナと太陽風の形成機構の究明、(II) 太陽面爆発現象の発現機構の究明とその発生を予測するための知見の獲得、(III) 地球気候変動に影響を与える太陽放射スペクトルの変動機構の解明、という3つの課題への挑戦を掲げたが、第一次審査を通過することができなかった。WG では、その要因分析から、科学目的の尖鋭化と計画規模の見直しが必須であると判断して計画の修正を進めている。またこれと同時に、足並みの揃った国際協力体制の実現を目指して、日米欧の宇宙機関にまたがる新たな WG 活動を発足させ、次の提案機会での計画採択を目指している。新 SOLAR-C 計画では、課題 (III) をオプション化し、近年稼働を始めた口径 1.5m 超級や建設中の口径 4m 級の大型地上太陽望遠鏡による狭視野・超高解像観測との連携も想定して課題を再設定している。特に、黒点領域全体・コロナを構成するループ構造・太陽面爆発フレアのように数百秒角程度に広がった構造全体にわたって、磁場の個々の微細構造を解像できる空間分解能で安定的に観測することは、衛星による太陽観測の利点の一つであり、それにより微細構造ダイナミクスと大スケール構造の不安定化・構造形成との関係づけが初めて可能となる。このような方針に従って、大型光学望遠鏡では観測波長の厳選に伴う焦点面装置の整理統合と望遠鏡口径のスリム化 (1.4m から 1m へ) を行っており、それは懸案の指向安定度要求を緩和する方向でもあるため、SOLAR-C 計画は実現性を高めた計画案へと修正されてきている。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

M43a 東アジアにおけるキャリントンイベント記録の再検討

早川尚志（京都大学），岩橋清美（国文学研究資料館），玉澤春史，河村聡人（京都大学），片岡龍峰（極地研究所），宮原ひろ子（武蔵野美術大学），海老原祐輔，磯部洋明，柴田一成（京都大学）

1859年9月1日にキャリントンが観測した太陽フレア，およびそれが原因で発生した巨大磁気嵐は，極端宇宙天気研究における一つの基準となっており，様々な先行研究がある．世界各地のオーロラ観測記録から磁気嵐の規模を推定した Green and Boardsen (2006) では，東アジア地区の観測を一例あげ，天候不順により記録がないものとしている．日本及び中国，韓国の当時の文献を調査したところ，当時の日本の天候はそれほど悪くなく，実際に国内文献から新たに観測事例も見つかった．磁気緯度に換算すると23度であり．世界各地でオーロラが観測された最大ピークの数時間後にあった小ピークを反映しているものと考えられる．本講演では既知の記録の再検討も含めて報告する．

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

M44a **X線天文衛星「すざく」搭載広帯域全天モニター WAM による 2005 年から 2015 年までの太陽フレアの観測**

矢部聖也、田代信、寺田幸功 (埼玉大)、山内誠、大森法輔 (宮崎大)、牧島一夫、岩切渉 (理研)、山岡和貴 (名古屋大)、杉田聡司 (東工大)、深沢泰司、大野雅功、河野貴文 (広島大)、高橋忠幸、国分紀秀、中川友進 (ISAS/JAXA)、浦田裕次 (NCU)、中澤知洋 (東大)、他すざく WAM チーム

太陽フレアとは、外層大気において発生する磁気リコネクションにより、磁気エネルギーが、プラズマを加熱する熱エネルギーや、加速させる運動エネルギーなどに変換される過程であり、その発生エネルギー量は $10^{29} - 10^{32}$ erg にもなる太陽系最大の爆発現象である。また、太陽フレアは大規模な粒子加速を伴うため、広帯域にわたる電磁放射の発生現場であることが知られている。そして、加速された粒子による非熱的制動放射で発生する太陽フレアの硬 X 線放射の観測は粒子加速の謎を解く手掛かりであるとされている。X 線天文衛星「すざく」搭載の広帯域全天モニター (Wideband All-sky Monitor, WAM) は、50 - 5000 keV の硬 X 線帯域を広くカバーしており、 2 sr の立体角と $800 \text{ cm}^2 @ 100 \text{ keV}$ の広い有効面積により様々な規模の太陽フレアの観測をしてきた。実際に、WAM では 2005 年の打ち上げ以降、2015 年までに 700 個以上の太陽フレアを検出している。本研究では、この間に観測された太陽フレアの系統的なスペクトル解析を行った。観測した全期間わたって、スペクトルのべきやフラックスは継続時間に明らかな相関はなく、また、気象観測衛星 GOES による軟 X 線と硬 X 線帯域での強度の相関にも長期的な変動はみられなかった。本講演ではこれらの詳細な解析方法とその解釈について報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

M45a 太陽の白色光フレアの統計的研究と太陽型星スーパーフレアとの比較

行方宏介, 坂上峻仁, 野津湧太 (京都大学), 渡邊恭子 (防衛大学校), 前原裕之 (国立天文台), 浅井歩, 柴田一成 (京都大学)

フレアは恒星表面で起こる爆発現象であり、突発的な増光が様々な波長帯で観測される。特に、可視連続光で観測されるフレアのことを白色光フレアという。近年、最大級の太陽フレアの $10 \sim 10,000$ 倍のエネルギーを持つスーパーフレアが、太陽型星 (G 型主系列星) において白色光フレアとして多数発見された。そして、統計的な研究により、太陽型星の白色光スーパーフレアのエネルギー (E) と継続時間 (τ) の間の関係に $\tau \propto E^{0.39}$ という関係があることがわかった。この冪乗則が、太陽フレアの硬 X 線 (6-12keV)・軟 X 線の観測 ($\tau \propto E^{0.2-0.4}$) とも対応していることから、フレアのエネルギー解放過程において統一的な機構が示唆される (リコネクションによる磁気エネルギーの解放)。太陽型星スーパーフレアと太陽フレアと比較し、統一的に説明できることを観測的に示すには、この関係を太陽の「白色光」フレアでも検証することが必要である。

今回、SDO 衛星の HMI (可視連続光) のデータを用いて約 50 個の白色光フレアの統計解析を行った。白色光フレアの放射は、先行研究をもとに 10,000K の黒体放射を仮定して計算した。その結果、太陽の白色光フレアの冪乗則は、太陽型星スーパーフレア及び太陽の硬・軟 X 線での観測と矛盾しないことがわかった。一方で、太陽の白色光フレアの継続時間は、太陽型星のスーパーフレアの冪乗則を外挿したものより、約一桁大きかった。この結果は、SDO で観測できない短い継続時間の太陽白色光フレアの存在、あるいは長い継続時間の太陽型星のスーパーフレアの存在を示唆しており、さらなる統計的な研究が必要である。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

M46a 白色光フレアにおける白色光発光の起源についての検証

渡邊恭子（防衛大学校）、増田智（名古屋大学）、大野雅功（広島大学）

太陽フレアに伴って可視連続光の増光が観測される「白色光フレア」現象は、その起源や発生機構が現在でもよく理解されていないが、これまでの観測・研究から白色光放射と硬 X 線放射の間に時間的にも空間的にも非常に良い関連性が見られることから、その起源は非熱的電子であると考えられている。

我々は「ひのでフレアカタログ」を用いて、白色光フレア現象の発生要因を調べるための統計解析を行っている。これまでに「ひので」可視光望遠鏡（SOT）で観測された「白色光フレア」と「白色光を伴わないフレア」の統計比較研究を行い、「大量の加速電子」が「狭い領域」に「短時間」に降り込むことが、白色光増光の鍵であることが分かってきた（北川、2015 など）。

白色光は光球面で発光していると考えられており、実際に「ひので」によるリムフレアの観測からも、増光の高度が光球に対応していることが確認されている（Watanabe et al., 2013）。一方、硬 X 線を放射するような電子は光球まで到達できない。この発光高度の違いを解釈するひとつの案が、白色光増光の起源が加速陽子（イオン）であるという説である。起源が加速陽子（イオン）であれば容易に光球面まで到達できるため、高度の違いを説明できる可能性がある。また、イオン加速の情報は、2.2MeV のガンマ線を観測することで検証することができる。

そこで我々は、これまでにリストアップした 2011 年から 2016 年 2 月までに SOT の可視光バンドで観測された太陽フレアイベント約 100 例について、RHESSI 衛星または Fermi 衛星で 1MeV 以上のガンマ線が観測されているイベントを探り、陽子加速の可能性を探った。このうち 2012 年 10 月 23 日に発生した X1.8 クラスフレアのみが候補であったため、このイベントについてイオン加速の可能性について検証を行った。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

M47a Quantitative estimation of the energy flux in a white light flare kernel observed by Hinode, IRIS, SDO, and RHESSI

Kyoung-Sun Lee (NAOJ), Shinsuke Imada (Nagoya Univ.), Kyoko Watanabe (National Defense Academy), Yumi Bamba (JAXA), David H. Brooks (George Mason University)

An X1.6 flare occurred at the AR 12192 on 2014 October 22 around 14:06 UT was observed by Hinode, IRIS, SDO and RHESSI. We analyze a bright kernel which produces a white light flare (WLF) with continuum enhancement and a hard X-ray (HXR) peak. Taking advantage of the spectroscopic observations of the IRIS and EIS, we measure temporal variation of the plasma properties in the bright kernel through the chromosphere and corona. We found that explosive evaporation were observed when the WLF occurred, even the intensity enhancement in hotter lines is quite weak. Those temporal correlation of the WLF, HXR peak, and evaporation flows indicate that the WLF could be produced by accelerated electrons. To understand the white light emission processes, we calculate the deposited energy flux from the non-thermal electrons observed by RHESSI and compare it to the dissipated energy estimated by the chromospheric line (Mg II triplet) from the IRIS. The deposited energy flux from the non-thermal electrons is about $9.2 \times 10^{10} \text{ erg cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ when we consider the cut-off energy 20 keV. The estimated energy flux from the temperature changes in the chromosphere measured from the Mg II subordinate line is about $4.6 - 6.7 \times 10^9 \text{ erg cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$, $\sim 15 - 22\%$ of the deposited energy. By comparison of these estimated energy fluxes we conclude that this continuum enhancement might be directly produced by the non-thermal electrons.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

M48a Flux Eruption にともなう超高温プラズマの生成過程

坂尾太郎 (ISAS/JAXA), 成影典之, 下条圭美 (国立天文台)

「ひので」搭載の軟 X 線望遠鏡 XRT は、1 MK 以下の低温から 20 MK を超える高温にわたり、温度の抜けなくコロナの撮像・温度診断を行う能力とともに、X 線波長域での太陽観測用望遠鏡として過去最高の空間分解能 (2 秒角) を持つ。これにより、フレアループ群の微細な構造や、温度分布の空間的な発展の様子を高い時間分解能で観測することができ、同種の望遠鏡である「ようこう」SXT で必ずしも十分に追求しきれなかったフレアによる高温プラズマの研究に新しい進展をもたらす可能性を持つ。XRT は SDO/AIA 望遠鏡でアクセスできない高温領域にまで温度感度を持ち、フレアによる高温プラズマの観測に特に適している。

2014 年 10 月の大活動領域 NOAA AR 12192 が東のリムにあった 10 月 14 日に起こした M1.1/M2.2 フレア (Behind-the-Limb フレア) は、XRT の持つフレア機上検出・観測機能により、「ひので」搭載 3 機器のうち XRT のみによって観測された。このフレアでは、flux rope 様の構造がコロナ上空へと放出されるのが軟 X 線画像で認められるが、同構造の頂上部側方からコロナ下方にかけて、30 MK 程度の超高温プラズマ (あるいは photon index $\sim 2-2.5$ 程度の非熱的 X 線放射) が生成されていることが、XRT のフィルター比温度解析から判明した。XRT は上限約 2 keV までの X 線放射に感度を持つが、このような軟 X 線エネルギー域で超高温 (ないし非熱的) プラズマの空間分布を示した前例はおそらくない。

講演では、SDO/AIA データとの比較も含め、同フレアで観測された flux rope 放出にともなう超高温 (あるいは非熱的) プラズマの生成過程を議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

M49a 太陽フレアにおける紫外線・X線観測による非平衡プラズマの空間分布

川手朋子(宇宙航空研究開発機構), Francis P. Keenan, David B. Jess (Queen's University Belfast)

太陽フレアにおけるエネルギー解放に伴う粒子加速現象は、その発生場所・発生メカニズムなど、未だに謎が多く残されている。一方粒子加速現象自体は宇宙空間で普遍的に発生しており、空間的に他波長で加速電子を観測できる太陽フレアにおける粒子加速現象は、太陽物理のみならず宇宙物理としても重要な対象である。

太陽フレアにおいて加速された電子は数 keV から数十 MeV にわたるエネルギー帯でべき分布として硬 X 線および電波の連続スペクトルとして観測されてきた。硬 X 線はイオンと電子間の制動放射によりフレアループのフットポイントおよびループトップの上部から、電波は cm 波帯においては電子のジャイロシンクロトロン放射によりフレアループ内から、いずれの放射も加速された電子の異なる性質を反映している。しかし、これらの波長帯の撮像観測は多くの場合フーリエ像合成を必要とするため、空間分解能およびダイナミックレンジへの制限がある。一方このエネルギー帯の電子は高階電離のイオンとも励起・電離反応を起こすことから、紫外線・軟 X 線における輝線スペクトルの中にもその情報が含まれる。ただし紫外線においては電離非平衡の影響と電子の非熱的分布を分離することが難しく、観測からの逆問題として解くのは難しい。また軟 X 線においては太陽フレアの高波長分解能な撮像分光観測自体の難しさから、先行研究の中で観測的に議論されたものは空間積分されたものが主である。

本研究ではひので衛星搭載極端紫外線撮像分光装置による観測から非平衡状態にある高階電離した鉄イオンの空間分布を議論する。また数値的に電子分布に対する極端紫外線・軟 X 線輝線強度の空間分布を導出し、これらの輝線強度比から加速電子の診断の可能性を議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

M50a デルタ型黒点を持つ四重極活動領域におけるフラックスロープの形成と放出

大井喜智 (東京大学), 横山央明 (東京大学), 鳥海森 (国立天文台)

われわれは、デルタ型黒点をもつ四重極の活動領域上空での磁気フラックスロープの生成・放出を再現する条件を調べるために、浮上磁場の3次元磁気流体シミュレーションを実施した。太陽では、デルタ型黒点を内部に持つ活動領域で最大級のフレアが起こることが知られている。その形成過程についてはいまだにわかっていないことも多いが、一部は2つのベータ型(双極)黒点のそれぞれの極が衝突して誕生し、全体として四重極の活動領域を形成すると考えられている。先行研究では、Toriumi et al. (2014) が磁束管の2ヶ所からの浮上により、このような活動領域の光球磁場進化を再現したが、巨大なフレアやCMEのソースとして考えられている磁気フラックスロープは再現されなかった。一方、私たちのパラメータサーベイでは、Toriumi et al. (2014) に比べて太く(1.4倍)、ねじれの強い(1.75倍)磁束管が浮上する際、光球の磁気中性線上にフラックスロープが作り出されることがわかった。このとき、磁束管がコロナに浮上した後、中心で極が接する部分の上空に電流シートができ、磁気リコネクションが起こる。その結果、外側の2極を結ぶ磁力線が下に、内側の2極を結ぶ磁力線が上に作られる。そして、その外側2極を結ぶ磁力線がねじられることでフラックスロープを形成する。さらに、コロナにフラックスロープ上部の磁力線とリコネクションを起こすような磁場を導入した時、このフラックスロープがシミュレーションボックスの上部境界まで上昇していくことがわかった。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

M51a フレアの頻発する活動領域 NOAA12297での磁気ヘリシティ入射の測定

長谷川隆祥 (東京大学/宇宙航空研究開発機構), 清水敏文 (宇宙航空研究開発機構)

太陽フレアとは、コロナ磁場に何らかの過程によって「磁場配位の複雑さ」として蓄積される自由エネルギーが、突発的に解放される現象である。この「磁場配位の複雑さ」を定量的に表す量が磁気ヘリシティである。

磁気ヘリシティは3次元的に定義される量であるが、磁場の観測は光球面でのみ可能であるため、コロナ中のヘリシティ量を直接計算することはできない。しかし、磁気ヘリシティが保存量であることから、対流層から光球を通過してコロナへ入射する、磁気ヘリシティ入射量 (Berger and Field 1984) を見積もることができる。この量は、Démoulin and Berger (2003) によると、光球でのベクトル磁場と磁束の断面の速度 u から計算できる。また、速度 u は、局所相関追跡法 (Welsch and Fisher 2008) によって求めることができる。

本研究の目的は、フレアが頻発する領域における磁気ヘリシティ入射量を見積もることで、コロナへの自由エネルギーの蓄積過程を理解することである。本研究では、SDO 衛星に搭載された観測装置、HMI によって得られた磁場データより、2015年3月9日から15日の間に、活動領域 NOAA 12297 において入射した磁気ヘリシティを計算し、フレアとの相関を見た。この領域は今太陽周期では特に活動的であり、Mクラス以上のフレアが多数発生した。また、15日に発生した大規模な CME は、18日に北海道で起こった低緯度オーロラの原因となった。

この活動領域においては、前もって存在した強い磁場領域に新たな磁場が浮上しており、それに伴い浮上磁場領域で強い正のヘリシティ入射が見られた。強いヘリシティ入射があった時期は、Mクラス以上のフレアが頻発した時期と重なっている。その後、浮上磁場の水平運動に伴い正のヘリシティ入射が続き、3月15日の CME の発生を迎えた。以上のように、磁気ヘリシティとフレアの関係を示唆する結果が得られた。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

【N. 恒星】

9月14日(水) 午前(11:00-13:00) [G会場]

N01a	11:00	Wolf-Rayet 星 WR140 における低温プラズマの X 線変動調査 菅原泰晴 (宇宙航空研究開発機構)
N02a	11:12	XMM-Newton 衛星で検出されたスーパーフレア星候補天体 中村優美子 (中央大学)
N03a	11:24	全天 X 線監視装置 MAXI を用いた星からの巨大フレアの統計的研究 佐々木亮 (中央大学)
N04a	11:36	高い磁気活動を示す近傍の太陽型星のコロナ温度と Emission Measure の探査、及びスーパーフレア星との比較 野津湧太 (京都大学)
N05b	11:48	すざく衛星によって発見された激しい光度変化を示す X 線天体の詳細解析 木下聖也 (東京大学/宇宙航空研究開発機構)
N06b	11:48	高輝度赤色新星 M31 LRN 2015 の爆発前天体の観測的研究 廣地諄 (広島大学)
N07a	12:00	恒星合体を基礎にした SN1987A の親星モデル; コアのヘリウム層と伴星の相互作用 漆畑貴樹 (東京大学)
N08a	12:12	Ia 型超新星の影響を受けた恒星の元素組成 野田和弘 (東京大学)
N09a	12:24	進化計算への応用を目指した質量座標系にもとづく星の平衡形状の導出 安武伸俊 (千葉工業大学)
N10c		北極星の脈動振幅の変動の共鳴仮説 石田俊人 (兵庫県立大学)
N11a	12:36	3次元モデルを用いた太陽型星の振動数についての考察 園井崇文 (パリ天文台)
N12a	12:48	星震学を用いた惑星をもつ巨星の質量推定 南雲暉 (東京工業大学)

9月14日(水) 午後(15:00-16:48) [G会場]

N13a	15:00	リチウム過剰な赤色巨星の発見と惑星飲み込み説の検証 國友正信 (名古屋大学)
N14a	15:12	炭素過多 AGB 星周縁部で形成される炭素ダストのサイズの再評価 保田悠紀 (北海道大学)
N15a	15:24	post-AGB 星の星周物質による分子吸収線の解析 松野允郁 (総合研究大学院大学/国立天文台)
N16a	15:36	金属欠乏を示す post AGB 星 CC Lyr のスペクトル解析 青木和光 (国立天文台)
N17a	15:48	s-過程核種合成と炭素過剰金属欠乏 (CEMP) 星形成の統一的猫像 (2) 山田志真子 (北海道大学)
N18b	16:00	Mira 型変光星や OH/IR 星に代表される長周期変光星の VERA による位置天文観測 中川亜紀治 (鹿児島大学)
N19b	16:00	VERA によるミラ型変光星 T UMa の年周視差測定 大山まど薫 (鹿児島大学)
N20b	16:00	食連星の光度曲線シミュレーション: 食連星における黒点の性質 高妻真次郎 (中京大学)
N21a	16:12	共生星 V407 Cyg の 2016 年極大期における中・低分散分光観測 内藤博之 (なよろ市立天文台)
N22a	16:24	すばる HDS によるろくぶんぎ座矮小銀河の重元素組成の解析 青木みさ (国際基督教大学)
N23a	16:36	すばる IRD による地球型惑星探査に向けた M 型星の特性決定 小泉陽平 (東京工業大学)

N01a Wolf-Rayet 星 WR140 における低温プラズマの X 線変動調査

菅原 泰晴, 前田 良知 (JAXA), 濱口 健二 (NASA/GSFC and UMBC), 坪井 陽子 (中央大学)

WR140(HD 193793) は、Wolf-Rayet 星 (WC7) と主系列 O 型星 (O5) の楕円軌道をもつ長周期連星系であり、両者からの星風が衝突して高温プラズマを生成し、X 線帯域で強い放射を示すことが知られている。さらに、近星点通過後に大量のダストが観測されており、元素拡散の観点からも注目されている天体である。最近、すざく衛星で得られた近星点付近の X 線スペクトルから放射性再結合構造を持つ電子捕獲優勢の低温プラズマ成分が発見された (Sugawara et al. 2015)。この低温プラズマは、現在のところ起源が不明であるが、星風衝突に起因する高温プラズマがダストへと遷移している途中のプラズマである可能性があり、この低温プラズマの調査は、大質量星の元素拡散の理解へつながることが期待される。

今回我々は、近星点付近の観測で確認された低温プラズマの起源を探るため、近星点を含む約2ヶ月間、計324ksecのアーカイブデータを使用し、スペクトルの変動を調査した。使用した XMM-Newton, Chandra, Swift, すざく衛星の中で、最も質の良いスペクトルが得られているすざく衛星の解析結果を元に、再結合優勢プラズマモデル (rnei) を採用し、それぞれの観測におけるエミッションメジャーを比較した。その結果、低温プラズマが少なくとも約 50%減光していることを確認した。これは、低温プラズマが遷移途中である説を支持する結果である。

本講演では、これらの解析の結果の詳細を報告し、低温プラズマの起源に関して考察する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

N02a XMM-Newton 衛星で検出されたスーパーフレア星候補天体

中村優美子, 坪井陽子, (中央大学), 寺島雄一 (愛媛大学), 勝田哲 (中央大学), 菅原泰晴 (JAXA)

太陽フレアの10倍以上のエネルギーを放出するフレアはスーパーフレアと呼ばれる。スーパーフレアは通常、連星系や主系列以前の若い天体で観測され、主系列星で起こることはまれである。可視光では Kepler 衛星を用いて主系列星からのスーパーフレア探査が行われているが(例えば Maehara et al. 2012)、X線で主系列星からフレアを検出した例は非常に少ない。今後、X線帯域でも統計的に研究する必要性が高まっている。

そこで我々は、X線天文衛星 XMM-Newton で確認された光度変動(2XMMi-DR3 カタログ: Dacheng et al. 2012)の中から、恒星フレアに似た変動を示した26天体を可視光と赤外線の日体と同定した。この中には固有運動が約 300 mas yr^{-1} の天体が2天体あった。うち1天体は座標的にも固有運動の方向、大きさが AB Dor Moving group と呼ばれる若い星団のそれらと酷似していた。AB Dor Moving group の年齢は50-120 Myr であり、主系列以前の段階にある(Malo et al. 2012)。このこともX線の活動性が高いことと合致しており、この可視光対応天体は AB Dor MG に属す新たなメンバーと結論づけることができた。AB Dor MG の距離は777 pc (Malo et al. 2012) であることから、フレア時の L_x を求めると $10^{26-29} \text{ ergs s}^{-1}$ となった。

また残りの25天体については、可視光と赤外線のデータを用いて SED を作成した。その結果、15天体について温度が求まりスペクトル型が確定できた(M型:13天体、K型星:1天体、F型:1天体)。これらの天体を主系列星だと仮定し距離を求めると70-1500 pc の範囲となった。この距離を使ってフレア時の L_x を求めると $10^{28-31} \text{ ergs s}^{-1}$ の範囲に分布した。通常、太陽フレアでの L_x は最も大きいもので $10^{27} \text{ ergs s}^{-1}$ のレベルであるので、これらの天体はスーパーフレア星候補であると言える。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

N03a 全天 X 線監視装置 MAXI を用いた星からの巨大フレアの統計的研究

佐々木亮、坪井陽子、勝田哲 (中央大学)、松岡勝、三原建弘 (理研)、他 MAXI チーム

星表面で起こるフレア現象はいつ起きるかわからない。このような発生の予測が困難な現象の観測には、全天監視装置によるサーベイが有効である。MAXI は国際宇宙ステーションに搭載され、90 分で地球を 1 周し全天をサーベイする高感度の全天 X 線モニターである。Gas Slit Camera と Solid-state Slit Camera の 2 つの検出器が搭載されておりエネルギー帯域はそれぞれ 2 – 30 keV、0.5 – 12 keV である。

この能力を用いて、我々は MAXI を使って星フレアのサーベイを行った。7 年間で 25 天体 (RS CVn 型連星:12, Algol 型連星:1, dMe 型星:9, dKe 型星:1, YSO:1, TTS:1) から計 100 発のフレアを検出した。これらのフレアの X 線ルミノシティー (L_f) は $2e30 - 5e33 \text{ erg s}^{-1}$ であった。MAXI におけるフレアサンプルは星として最大級のフレア群であり、各々の恒星が持ちうる最大フレアと言って良い。

我々は、MAXI によって検出された各天体における最大の L_f と、定常 X 線ルミノシティー (L_q) (Voges et al. 1999) とを比較した。このような統計的研究は今回が初めての試みである。その結果 $L_f \propto L_q^{0.7}$ の相関を発見した。また、これらのデータに対して太陽のデータ (Drake et al. 1969, Sammis et al. 2000) をプロットしたところ同一直線上に乗ることが確認された。この結果から、超巨大フレア天体におけるフレアと定常 X 線の発生領域は実質的には太陽 X 線のアナロジーで類推できることを示せたことになる。すなわち、超巨大フレア天体における定常 X 線の発生機構はフレアと同じく、磁気活動に起因することがより強固に示せたといえる。本講演では、これらの統計的結果の詳細な解釈について述べる。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

N04a 高い磁気活動を示す近傍の太陽型星のコロナ温度と Emission Measure の
探査、及びスーパーフレア星との比較

野津湧太 (京都大学), 前原裕之 (国立天文台), 本田敏志 (兵庫県立大学), 野津翔太, 行方宏介, 幾田佳, 野上大作, 柴田一成 (京都大学)

私達は、ケプラー宇宙望遠鏡の測光データから、最大級の太陽フレア ($\sim 10^{32}$ erg) の $10\text{-}10^4$ 倍のエネルギーを解放する「スーパーフレア」を起こす太陽型星 (G 型主系列星) を多数発見してきた (Maehara et al. 2012 他)。近傍のスーパーフレア星の探査につなげる為、私達は、ROSAT 衛星の全天軟 X 線サーベイで受かった太陽型星 49 星について、岡山 188cm 望遠鏡で高分散分光観測を行ってきた。この結果、自転の遅い太陽のような星でも、スーパーフレア星と同様の高い磁気活動を示す星があることが確認されている (Notsu et al. submitted)。

今回、この 49 星について、ROSAT 全天軟 X 線サーベイ (0.1-2.4keV) での Hardness ratio 及び Count rate の値を用い、コロナ温度 (T) と Emission Measure ($EM=n^2V$) を推定した。その結果、典型的には $T \sim 10^{6.5}$ K, $EM \sim 10^{51-52} \text{cm}^{-3}$ であった。Shibata&Yokoyama (2002) によって、「熱伝導=放射冷却」の関係から、T タウリ型星の定常コロナ (一つの活動領域) について、ループサイズ (\sim 活動領域のサイズ) とコロナ加熱率を推定する概算式が提案されている。この式を今回の観測星の値と比較すると、温度 ($< 10^7$ K) に対して推定される EM より、観測星の EM はずっと大きいとわかった。このことは、星表面に多数の活動領域が存在する可能性を示唆する。

また、ROSAT 全天サーベイで 6 星、XMM Newton のアーカイブデータ中に 7 星のスーパーフレア星の X 線データが含まれている (cf. Yabuki et al. in preparation)。これらについて、同様に T と EM の値を調べたところ、上記の 49 星と概ね矛盾しない値であった。本発表では、以上の詳細について報告・議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

N05b すざく衛星によって発見された激しい光度変化を示す X 線天体の詳細解析

木下聖也, 海老沢研, 水本岬希 (宇宙航空研究開発機構/東京大学)

2005 年から 2015 年にかけて活躍したすざく衛星は、複数の観測装置を備えており、その一つが撮像能力を有する X 線 CCD 検出器 (X-ray Imaging Spectrometer : XIS) である。この検出器は、同時期に運用されていた Chandra や XMM-Newton などの CCD 検出器に比べ、空間分解能が悪く、点源検出能力では劣っていたのだが、バックグラウンドが低かったため、広がった X 線天体に対しては優れた感度を有していた。この特長を生かし、すざくはこれらの衛星が観測していない多くの領域を観測したため、偶然未知の X 線天体を視野に入れていた可能性がある。また、X 線天体の光度は激しく時間変動することが多いため、既に他の衛星によって観測された領域からもしばしば新たな天体が発見される。そこで、全ての XIS データから点源検出を行った結果、1000 以上の新たな X 線天体が発見された。また、さらにその中の数十個の天体は、観測期間中に大きな光度変化が確認された (海老沢、2016 年春季年会 V303b など)。

我々はこれらの天体のなかから、光度変化が特に激しいものを選定し、詳細なスペクトル解析、及び時間変動解析を行っている。本講演ではこれらの結果を報告するとともに、それらの天体の正体について考察する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

N06b 高輝度赤色新星 M31 LRN 2015 の爆発前天体の観測的研究

廣地諄, 植村誠, 内海洋輔, 岡部信広 (広島大学), 宮崎聡 (国立天文台), 安田直樹, 高田昌広 (Kavli IPMU), 新倉広子 (東大), 千葉証司 (東北大)

高輝度赤色新星 (Luminous Red Nova; LRN) とは、普通の新星とは違い、爆発した後も際立った赤色を示し、かつ通常の新星より光度が高いのが特徴である最近注目され始めた星のタイプである。爆発機構としては連星系の衝突合体が考えられており、爆発前の観測が重要となるが、突発現象であるため、その観測データを得ることは難しい。

2015年1月にM31で爆発的に増光した天体が発見された。その後の観測によってこの天体はLRNと同定され、M31 LRN 2015と名づけられた。当該天体は偶然にも爆発前の状態がSubaru/HSCで撮られていた。本研究はそのデータを解析し、爆発前の挙動を他のLRNと比較することで、爆発のメカニズムの手掛かりを得ることが目的である。測光の結果、 g, r, i バンド全てにおいて爆発590日前から120日前の間に約1等の増光傾向が見られた。当該天体においてこのような増光を検出したのは初めてである。爆発前のこの時期の増光は、別のLRN V1309 Scoでも観測されており、LRNで2例目となる。また、同視野内からHR図を作成し、当該天体の爆発前の状態を調べた。その結果、当該天体の爆発前の色と等級は赤色巨星分枝の最も進化が進んだ領域に属することがわかった。爆発前の状態が観測されている他のLRN (V1309 Sco, V838 Mon) の例では異なるタイプが報告されており少なくともLRNの爆発前の天体は特定の質量、及び進化段階の恒星に限られているわけではないことがわかる。一方で、爆発機構の仮説としての連星系の合体説では、ロッシュローブを満たしている星が巨星である必要があり、この仮説とは矛盾しない結果となった。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

N07a 恒星合体を基礎にした SN1987A の親星モデル; コアのヘリウム層と伴星の相互作用

漆畑貴樹, 梅田秀之, 高橋巨, 吉田敬 (東京大学)

SN1987A は近傍の銀河である大マゼラン雲で発生した超新星である。観測が困難な突発的な高エネルギー現象を詳細に調べる事ができたので、天文学の範囲を超えて科学全体に重要な現象となった。超新星を起こした親星が初めて同定された例であり、大質量星の進化理論と比べる事により理論の正しさを検証する試みが行われた。従来の理論では大質量星は進化の末に大きく膨れ上がり赤色超巨星になると考えられていたが、SN1987A の親星は比較的コンパクトである青色超巨星だった。さらに観測からは一旦膨れ赤くなった星が爆発の約2万年前に何らかの作用により収縮し青い星になった事が分かった。この進化パスや諸々の観測事実を説明するために多数の親星モデルが提案されてきたが、現在の有力なシナリオは恒星合体モデルである (Podsiadlowski et al. 1992 and 2007)。しかし、恒星合体シナリオを基礎にしたモデルで鉄コア形成段階まで計算された例は存在しない。

Saio et al. (1988) に指摘されたように、収縮を起こすメカニズムには外層のヘリウム量と質量が重要である。本研究ではまず恒星合体シナリオを想定した恒星進化計算を行い星自身が作り出せるヘリウム量ではそのメカニズムを起こすのは困難である事を示す。そして、これを解決する方法としてコアの表層のヘリウムと主系列星である伴星の相互作用を提案し、本講演ではその結果を報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

N08a Ia型超新星の影響を受けた恒星の元素組成

野田和弘, 須田拓馬, 茂山俊和 (東京大学)

Ia型超新星は宇宙膨張を知るための標準光源として有用であるとともに、銀河の化学進化を理解する上でも重要である。しかしながら、Ia型超新星の先駆天体の正体はまだはっきりしておらず、爆発した天体が縮退星でない伴星を持つかどうかを検証することが重要な課題である。爆発天体の伴星の存在を確認する手段として、Tychoの超新星残骸は有力な天体であり、Ruiz-Lapuente et al. (2004)をはじめとして生き残り伴星の有無が議論されてきた。

我々はこれまで、白色矮星と赤色巨星の連星系でのIa型超新星について、生き残った伴星がどのような光度変化を示すか系統的に調べ(Noda et al. 2016)、2015年秋季年会においてその結果を報告した。今回の講演では、白色矮星と主系列星の連星系でのIa型超新星について、生き残った伴星の表面元素組成がどのように変化するかを議論する。

Ia型超新星を経験した生き残り伴星は、表面の元素組成に異常を示すことがLanger et al. (2000)により予想されている。我々は今回、恒星の進化計算コード及び流体計算コード(FLASH)を用いて、主系列での進化、連星系での質量輸送、爆発のejectaと伴星との相互作用を含めたシミュレーションを行うことで、表面元素組成の変動を調べた。本研究では特に、星の表面での破壊が起こりやすいリチウムに着目し、様々な質量を持つ伴星についてIa型超新星による影響を検討した。本講演では、幅広い質量範囲の伴星についてリチウムの大幅な減少を引き起こすことを示すと同時に、炭素や酸素などの表面組成の変動についても議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

N09a 進化計算への応用を目指した質量座標系にもとづく星の平衡形状の導出

安武伸俊 (千葉工大), 藤澤幸太郎, 山田 章一 (早稲田)

観測、とりわけ星震学による太陽などについてのデータ解析によって、恒星内部の角速度分布などの情報が近年示唆されるようになってきた。しかしながら、一方でそれらの観測を満足する星の進化理論モデルはまだ未完成であると言って良い。とりわけ、回転によって球対称から大きく変形しているような星に関しては理解が不十分な点が多い。

このような非球対称星の構造 (回転平衡形状) の研究の歴史は長く、これまで様々な平衡解の導出方法が提案され議論されてきた。しかしながら、これらの回転平衡解を星の進化計算に直接取り入れたものは、ほぼない。その困難の原因は様々であるが、(i) 現実的な状態方程式を用いた平衡解を求める、(ii) 時間進化にともなう質量素片や各粒子の存在比の軌跡を追う、の2点が大きな問題として挙げられている。

近年、我々が提唱した手法によって上記の2点の困難を克服することができた。しかしながら、この解は“弱解”に分類されるために局所的に見れば平衡条件をわずかに破っている可能性がある。今回の発表では、この“弱解”ではなく“厳密解”を得ることを目的とした我々の試みを紹介する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

N10c 北極星の脈動振幅の変動の共鳴仮説

石田俊人 (兵庫県立大学)

北極星系中のセファイド変光星は、最も多くの研究が行われている古典的セファイドの一つである。この星は、小振幅セファイドと呼ばれるサブグループに属し、進化によると思われる周期変動が観測されている。また、脈動振幅の変動が観測されている。急速に振幅が小さくなったことからセファイド不安定帯から出て行くのかと考えられたときもあったが、最近振幅が回復してきていることが報告されている。また、最近、脈動モード、進化状態、距離について、どのように考えるか議論がある (Turner et al. 2013, Neilson 2014 など)。

これまでに観測されている振幅の変動は、このまま振幅が回復するとすれば、脈動不安定帯のある場所で振幅が減少し、そこから離れるにつれて、通常の振幅に戻るといった現象であると考えられる。規模こそ異なるが、このような振幅の減少はいわゆる bump Cepheids において観測されている。これは周期 10 日前後で起こる現象で、周期により光度曲線中の bump の位相が移動し、振幅全体が減少する。その原因は、動径脈動の基本モードと第 2 倍振動モードとの 2 対 1 共鳴と考えられている。共鳴の中心で振幅は最小となる。北極星で起こったことも、関与するモードが高次であるためにいくつか異なる点もあるが、モード間の共鳴によるのではないだろうか？

そこで、北極星について、高次のモードとの共鳴の可能性がないか検討してみた。観測されている北極星のパラメータ周辺について、線形非断熱動径脈動模型により第 5 倍モードまでの周期および脈動不安定性を求めた。その結果、(1) 第 1 倍モードと第 4 倍モードは 2 対 1 共鳴に近い、(2) 基本モードに対しては 2 対 1 共鳴に近い高次のモードは見当たらない、とわかった。従って、北極星における振幅の変動は、共鳴現象によるものである可能性がありそうだ。また、その場合、観測されている周期は第 1 倍モードと考えられる。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

N11a 3次元モデルを用いた太陽型星の振動数についての考察

園井崇文, R. Samadi, K. Belkacem, E. Caffau, B. Mosser (パリ天文台), H. G. Ludwig (ハイデルベルグ大学), M. A. Dupret(リエージュ大学)

太陽型星では、外層で大規模な対流が発達している。この対流の叩きによる確率的励起 (stochastic excitation) により、1つの星で多数の固有振動モードが現れている。典型的な脈動型変光星と比べると振幅が小さいことから、従来の地上観測ではその特徴を捉えることが困難であった。しかし、近年、CoRoT, Keplerといった宇宙探査機により、高精度の測光データが得られていて、恒星の質量、年齢、内部構造などの制限に威力を発揮することが期待されている。最近、多くの太陽型星が系外惑星を保持していることから、それらの情報を正確に決定する方法の確立は重要である。

しかし、現状では、恒星の理論モデルに不定性があることから、その精度を活かしきれていない。特に、表面付近の対流は、高レイノルズ数の乱流となり、標準的な恒星進化コードに、効率的に組み込めるような決定的な記述方法がない。そこで、多くの研究では、観測の振動数と整合する際、太陽のデータを基にした経験則 (Kjeldsen et al. 2008, ApJ, 683, L175) を用いて、理論モデルの振動数を修正している。しかし、その方法に対する物理的な根拠は明確にされていないままである。

そこで、本研究では、太陽型星の標準的モデルの外層部分を、CO⁵BOLDコードによる3次元流体力学計算で得られたモデルに置き換えたモデル (Patched model) を作成して、振動数を考察している。本講演では、Patched modelを現実の星と見立て、標準モデルとの振動数差を取ることで、各有効温度、表面重力加速度における標準モデルの振動数の修正幅を決定する試みについて発表する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

N12a 星震学を用いた惑星をもつ巨星の質量推定

南雲 暉 (東京工業大学), 佐藤文衛 (東京工業大学), 神戸栄治 (国立天文台), 安藤裕康 (国立天文台), 大宮正士 (国立天文台), 原川紘季 (国立天文台)

近年、岡山惑星探索計画を始め、中質量巨星を対象としたドップラーサーベイが精力的に行われ、約 80 個の惑星や褐色矮星が発見された。これらの惑星は太陽型星周りの惑星系とは異なる特徴を持つことが明らかとなってきた。中質量巨星周りの惑星の詳細なパラメータや中心星依存性を知るために中心星質量をより正確に推定する必要があるが、巨星は HR 図のクランプ領域に存在し、質量の推定に大きな不定性が生じるため、一般に用いられる統計的な質量推定法では限界がある。そこで本研究では、星震学の知識を用いて、従来とは独立な観測的な手法で質量推定を試みた。最近の超精密測光観測などによって多数の巨星で微小振動が検出され、巨星に対する星震学の手法が確立されており、振動の周期解析によって得られたパワースペクトルにおいて最大のパワーを与える ν_{\max} とラージセパレーション $\Delta\nu$ がスケーリング則によく従うことが知られている ($\nu_{\max} = 3050(g/g_{\odot})(T/T_{\odot})^{-1/2}$, $\Delta\nu = 134.9(g/g_{\odot})^{1/2}(R/R_{\odot})^{-1/2}$)。これらの振動パラメータを得ることで、経験的に質量を算出できる。また、 ν_{\max} は質量に比例するため、干渉計により直接半径が調べられている天体を選ぶことで ν_{\max} のみから質量推定が可能であると考えられる。本研究では、惑星を持ち、質量の大きな不定性が指摘されている HD221345 (K0III), HD104985 (G9III), HD127243 (G3IV) の 3 天体を、岡山 188cm 望遠鏡及び高分散分光器 HIDES を用いて高精度な視線速度観測を行った。各天体の視線速度変動を周期解析することで ν_{\max} として 25-30 μ Hz の値が得られた。3 天体の質量は従来 1.9-2.2 M_{\odot} 程度と推定されていたが、今回 ν_{\max} から見積もられた質量は 1.0-1.3 M_{\odot} 程度となった。講演では、これらの得られた質量の違いの原因等についても議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

N13a リチウム過剰な赤色巨星の発見と惑星飲み込み説の検証

國友正信 (名古屋大学), Elisa Delgado Mena, Vardan Adibekyan (IA, Universidade do Porto)

リチウムが過剰に存在する赤色巨星はこれまで数十個検出されている。この原因として、これまで Cameron-Fowler 機構 (CFM) によるリチウム生成や惑星の落下 (惑星飲み込み) によるリチウム注入などが提唱されているが、どれが主要な機構であるかははっきりしていない。そこで我々は惑星飲み込み説を検証するために、これまで惑星探索が行われた 12 の星団に存在する 67 個の巨星の組成を決定し、3 つのリチウム過剰な赤色巨星を発見した。興味深いことに、そのうち 2 つ (NGC 4349 No. 127, NGC 2423 No. 3) は惑星を保持するクランプ巨星であることが知られている。従って、これらの系では惑星形成が行われたことを示しており、別の短周期惑星が形成され飲み込まれたかもしれない。さらに我々は軌道進化計算を行い、これらの 2 天体で惑星が飲み込まれるか検証した。惑星は主に中心星変形潮汐と中心星の質量損失により軌道が変化する (Kunitomo et al. 2011)。恒星進化コード MESA (Paxton et al., 2011, 2013) を用いて 2 天体と同じ質量、金属量を持った星の進化を計算し、その周りで惑星の潮汐軌道進化を計算した。その結果、どちらの天体でも過去数千万年の間に惑星が飲み込まれた可能性は非常に低いことがわかった。惑星の潮汐軌道進化は主星の半径に強く依存する。そのため、惑星は大きく膨張する赤色巨星分枝で多く飲み込まれ、やや膨張が収まるクランプ巨星周りでは潮汐軌道進化が大きく起こらないためである。今後我々はすばる望遠鏡を用いてこれら 2 天体の観測を行い、Be にも過剰が見られるかを調査する予定である。リチウム過剰の原因が CFM か惑星飲み込みかを、Be の存在量に過剰が見られるかどうかで観測からも制約することが出来ると期待される。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

N14a 炭素過多 AGB 星周縁部で形成される炭素ダストのサイズの再評価

保田悠紀、小笹隆司 (北海道大学)、田染翔平 (横浜市立大学)

銀河内の炭素過多 AGB 星では高密度低速風が発生していることが主に電波観測から明らかにされている (e.g., Bergeat and Chevallier 2005)。その内、質量放出率が $10^{-6} M_{\odot} \text{ yr}^{-1}$ 以上となる天体からの質量放出現象とその周縁部での炭素ダストの形成量については星の脈動、ダスト形成過程、ダストに働く輻射圧を考慮した動力学モデルで再現できると考えられている (e.g., Nowotny et al. 2005)。特に AFGL 3068 についてのモデル (Winters et al. 1997) では形成される炭素ダストのサイズが半径 $0.1 \mu\text{m}$ 程度であると見積もっており、この値は銀河ダストの進化を研究する上で参考にされている (e.g., Asano et al. 2013)。しかしながら初期金属量を太陽金属量とした恒星進化計算で導出した恒星パラメータを使用した動力学モデル計算によると炭素過多 AGB 星では低速風となる場合がまれであり、炭素ダストのサイズは $0.03 \mu\text{m}$ 未満にすぎないことが判明した (保田他 2016 年春季年会)。

低速風となる場合がまれである原因の一つはダスト形成モデルにある。つまり動力学モデルに使用される炭素ダスト形成モデル (e.g., Gail and Sedlmayr 1988) では核形成率が過大評価されており、そのため炭素ダストが過剰に形成され、その輻射圧によってガスが過剰に加速されている恐れがある。我々は (1) 非定常核形成過程を考慮すること、または (2) 見積りの正確さに欠ける表面張力の値を上げることで、核形成率が下がる設定に変更したダスト形成モデルを使用し、動力学モデルから炭素ダストのサイズを再評価している。その結果、(1) は高密度風 ($\dot{M} \geq 10^{-6} M_{\odot} \text{ yr}^{-1}$) では有意な変化をもらさないことと (2) は 1 割程度の表面張力の値の増大でサイズが数倍になることが判明した。本講演では、様々な初期質量の場合の結果について詳細に述べる。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

N15a post-AGB 星の星周物質による分子吸収線の解析

松野允郁 (総合研究大学院大学 / 国立天文台), Mudumba Parthasarathy(IIA), 青木和光 (国立天文台), 内山久和 (総合研究大学院大学 / 国立天文台)

post-AGB 星は低・中質量星の進化の最終段階であり、激しい質量放出によって漸近巨星分枝 (AGB) 星から白色矮星へと進化しつつある恒星である。post-AGB 星は恒星の進化過程の理解そのものだけでなく、銀河の種族合成や化学進化の観点からもその重要性が認識されてきているが、未だ詳細な質量放出機構の理解は進んでいない。post-AGB 星の赤外線光度やスペクトル中の吸収線の形状には、質量放出によってもたらされた多量の星周物質の存在が認められる。我々はすばる望遠鏡 HDS を用いて post-AGB 星のスペクトルを取得し、星周物質による C_2 分子の吸収線 (Swan band (0,0)) の解析を行った。 C_2 は中心星から放出されたアセチレン (C_2H_2) の解離によって星周物質中でつくられると考えられており、その量や温度は質量放出モデルの検証となる。星周物質の吸収線の等価幅と回転温度から、星周物質の励起温度と柱密度を求める。IRAS Z02229+6208 に対して、励起温度 $4.2 \pm 0.2 \times 10^2$ K を得た。本研究の結果と、同じ天体に対し異なる吸収線を用いて同様の解析を行った先行研究 (Reddy et al., 1999, ApJ, 524, 831 など) を比較した結果、励起温度は誤差の範囲で一致した。ただし、今回の解析では先行研究より C_2 の柱密度は小さいことを示唆する結果を得た。本講演では、解析手法を紹介後、得た結果と先行研究の比較を行う。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

N16a 金属欠乏を示す post AGB 星 CC Lyr のスペクトル解析

青木和光 (国立天文台、総研大)、松野允郁 (総研大)、本田敏志 (兵庫県立大学)、Mudumba Parthasarathy (IIA)

恒星進化の末期に質量放出によって外層を失い、白色矮星に進化しつつある段階の星は post AGB 星とよばれ、そのなかには、著しい金属欠乏を示すものがある。その原因は、何らかの理由でダストとガスの分離が起こり、ダストによって金属元素が抜けたガス成分のみが星にみられるためと考えられており、実際、欠乏を示すのは鉄をはじめとする難溶性元素で、炭素や酸素、亜鉛などに顕著な欠乏がみられない。ダストとガスの分離のメカニズムは明らかになっていない。極端な例として $[\text{Fe}/\text{H}] < -3$ となっているものが数天体みつかっており、これらの詳しい観測が問題解決の鍵を握っていると考えられる。CC Lyr については Maas et al. (2007, ApJ 666, 378) による type II Cepheid 星の研究において化学組成が報告されているが、著しい金属欠乏を示す天体であり、上記の post AGB 星の一例と考えられる。この天体の高分散分光観測を複数回行い、化学組成および視線速度を測定した。その結果、この天体の炭素・酸素組成は太陽組成程度である一方、マグネシウムや鉄は3桁以上の欠乏を示すことが確認され、新たにストロンチウムも欠乏していることがわかった。硫黄や亜鉛は太陽組成に比べるやや欠乏している。また、1ヶ月程度の期間の間で行われた3回の観測のなかで約 10km s^{-1} の視線速度の変化も検出された。これが星の脈動によるものか、星が連星系に属しているためかの識別にはさらなる観測が必要である。さらに、多数の炭素 (C I) 吸収線に非対称性が見られることも新たにわかった。これらの観測的特徴を他の post AGB と比較し、ダスト・ガス分離の原因を考察する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

N17a s-過程核種合成と炭素過剰金属欠乏 (CEMP) 星形成の統一的猫像 (2)

山田志真子 (北海道大学), 須田拓馬, 小宮悠 (東京大学), 藤本正行 (北海道大学, 北海学園大学)

前回の発表では、金属欠乏 AGB 星での炭素過剰星 (CEMP) の形成機構として、炭素過剰の起源を AGB 星での He flash 時の核生成物の表面对流層への浚渫 (Third Dredge-up 及び He 対流層への水素混合に起因する Helium-Flash Driven) に求める連星系における質量膠着モデルによって統一的に理解できることを示した。ここで、s-過程元素過剰を示す CEMP-s の s-過程元素は (1)AGB 星の He flash 対流層への水素混合による対流中での $^{13}\text{C}(\alpha, n)^{16}\text{O}$ 反応によって説明でき、s-過程過剰を伴わない CEMP-no 星は連星系の separation が大きい場合の (1) の反応若しくは (2) 外層中の CNO 元素が水素燃焼で ^{14}N への転換し、その後の He flash で内部に持ち込まれ ^{22}Ne を起点とする反応の何れかで説明できることを示した。更に、s-過程元素に比して r-過程元素過剰を示す CEMP-r ($[\text{E}/\text{Ba}] > 0$) については、その炭素過剰の起源を s-過程元素合成の効率の低い AGB 星に求め、r-過程元素については形成時にガス雲が含んでいたそれ以前に形成された r-過程元素合成に起因するモデルで説明可能であることを示した。

本研究では、これらの CEMP stars の形成機構について更に詳しく解析を行った結果を述べる。特に、AGB 星での s-過程元素合成が、低金属量 ($[\text{Fe}/\text{H}] < -2$) では金属量に依存しなくなることを用いることで、CEMP stars の起源の同定の見通しを良くすることができることを示す。更に、CEMP-s stars と CEMP-no stars の金属量依存性の違いから、宇宙初期における AGB 連星のパラメーター、初期質量関数等の星形成の進化との関連の考察を試みる。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

N18b **Mira 型変光星や OH/IR 星に代表される長周期変光星の VERA による位置天文観測**

中川亜紀治 (鹿児島大学), 倉山智春 (帝京科学大学), 面高俊宏 (鹿児島大学), 鹿児島大学 VERA グループ, 国立天文台 VERA グループ

質量が $1 \sim 8 M_{\odot}$ の星はその進化がすすみ Asymptotic Giant Branch (AGB) フェーズを経る際に周期的な変光を示す。Mira 型変光星に代表されるこうした長周期変光星では、その変光周期と明るさの間に数量的な関係がみられ (周期光度関係)、距離尺度として利用されている。我々は銀河系内長周期変光星の K バンド周期光度関係の確立を目的として、国内 VLBI アレイである VERA を用いた位置天文観測を進めている。観測対象は水メーザーを伴う近傍 (距離数百 ~ 2 kpc 程度) のミラ型変光星が中心である。変光周期 300 日前後を中心とするミラ型変光星についてこれまでに得られた結果を報告する。その際、これまで K バンドに限定してきた議論を Bolometric Luminosity へと拡張し、また星周吸収についても考察を試みる。1000 日を超えるようなより長い周期を持つ OH/IR 星の周期光度関係についても、様々な波長帯での等級を調べることによってその存在が確認できつつあり、こうした研究活動の状況も報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

N19b **VERA によるミラ型変光星 T UMa の年周視差測定**

大山まど薫、中川亜紀治、半田利弘、面高俊宏（鹿児島大学）、国立天文台 VERA プロジェクト

ミラ型変光星を含む長周期変光星には変光周期と明るさの間に周期光度関係 (Period-Luminosity Relation; 以下 PLR) と呼ばれる量的な関係がある。鹿児島大学では国立天文台 VERA による高精度な年周視差の測定と鹿児島大学 1m 光赤外線望遠鏡による見かけの等級と変光周期の測定を組み合わせ、天の川銀河内のミラ型変光星に対する PLR の確立を目標とした研究を行っている。現状では VERA 以外の VLBI 観測を含めても距離と変光周期と見かけの明るさがそろった天体が 10 個ほどしかなく、ある程度の精度での関係は求められているが、PLR の確立にはさらに多くの天体について観測を進める必要がある。今回、私はミラ型変光星 T UMa の水メーザーを VERA によって観測し、その年周視差が $\pi = 0.96 \pm 0.19$ ミリ秒角、距離が $D = 1.05^{+0.25}_{-0.17}$ kpc であることを求めた。また、鹿児島大学 1m 光赤外線望遠鏡より、この天体の変光周期は 257 日で、近赤外線 K バンド見かけ等級は 2.79 等が得られた。ここから、絶対等級は $-7.31^{+0.39}_{-0.47}$ 等と求められた。T UMa は VERA で観測されたミラ型変光星の中で最も短い変光周期を持つため、今後、他の天体とあわせて天の川銀河のミラ型変光星の PLR を明らかにするうえでも重要である。今回の結果から、T UMa は Nakagawa et al.(2014) の PLR の外挿と誤差範囲で一致し、周期 250 日 450 日の範囲が単一のベキ乗で表わせることがわかった。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

N20b

食連星の光度曲線シミュレーション：食連星における黒点の性質

高妻 真次郎（中京大）

食連星の光度曲線は、食による周期的な光度の極小部が現れることが特徴のひとつであり、光度曲線を解析することで質量比や表面温度比、軌道傾斜角、半径比などのいわゆる測光要素を得ることができる。他に、黒点による光度変化、質量移動/損失や磁場の変化による公転周期の変動などのように、連星系における物理現象が光度曲線に与える影響は大きく、光度曲線から得られる情報は非常に多い。

我々は、食連星の光度曲線をシミュレートするコードを開発した。連星系の各星の形状としては3軸不等の楕円体を仮定し、恒星表面を極座標系にしたがいメッシュ化してモデルを構築した。このモデルでは、基本的な測光要素をパラメータとしたうえで、各星の自転や経時とともに恒星表面上を移動できる黒点を複数組み込むことも可能である。さらに、測光要素が全くの未知であったとしても、各天体の光度曲線に最適なパラメータが自動的に算出されるように改良を加えた。これを利用し、Kepler 衛星により得られた Kepler eclipsing binary catalog の食連星や測光要素がよく知られている食連星を主な対象として、光度曲線のシミュレーションを行った。その結果、先行研究により測光要素などがすでに知られている天体の一部は、我々のシミュレーションでも再現することができた。

講演では、我々の光度曲線のシミュレーションの妥当性を評価するとともに、さまざまな食連星へ適用した結果をくわしく報告する。さらに、Kepler 食連星の黒点面積を定量的に見積もり、食連星における黒点の性質などについて議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

N21a 共生星 V407 Cyg の 2016 年極大期における中・低分散分光観測

内藤博之(なよろ市立天文台), 飯島孝(パドヴァ大学アジアゴ天文台), 本田敏志, 大島誠人(兵庫県立大学西はりま天文台), 溝口小扶里, 松下真人(仙台市天文台)

白色矮星(および降着円盤)と赤色巨星からなる連星系において、両星の成分がスペクトルに見られる(赤色巨星から放出されたガスが連星系を取り囲んでいる)天体を共生星と呼んでいる。V407 Cyg は共生星であり、伴星である赤色巨星はミラ型変光星であると考えられている。V407 Cyg は過去 2010 年において新星爆発が観測され、回帰新星である RS Oph の連星系と類似していることから、連星系の進化および回帰新星と Ia 型超新星の関係性を研究する上で重要な天体となっている。さらに 2010 年のバースト時には、新星としては初めてガンマ線が検出されるなど、主星の星周環境を研究する上でも重要な天体となっている。

我々は V407 Cyg の観測を 2010 年の爆発から継続しており、2011-2012 年に行った観測からは、伴星のミラ型星の極大光度付近でスペクトルが大きく変化することが分かった。V407 Cyg の連星系の公転周期は 43 年という報告があるが(Munari et al. 1990, MNRAS, 242, 653)、このような長周期の場合、ミラ型変光星(伴星)の半径の大きさの変化による(伴星から白色矮星への)ガスの質量移送量の変化は期待されないため、我々の観測結果はより短い周期を示唆するものである。今回、2016 年に伴星が極大を迎えるにあたり 3 月から 5 月にかけてアジアゴ天文台 1.2m 望遠鏡、西はりま天文台 2.0m なゆた望遠鏡および仙台市天文台 1.3m ひとみ望遠鏡で中・低分散分光観測を行った。本講演では、その結果について報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

N22a

すばる HDS によるろくぶんぎ座矮小銀河の重元素組成の解析

青木みさ (国際基督教大), 青木和光 (国立天文台), 石丸友里 (国際基督教大)

階層的構造形成論に基づけば、銀河系ハローのような大規模な系は小規模なサブハローの衝突・合体により形成されたと考えられる。したがって、銀河系ハローの金属欠乏星の化学組成比の分布は、異なる星形成史をもつサブハローの化学進化を反映していることになる。Ishimaru et al. (2015) は、この仮説に基づいた化学進化モデルを用いて、銀河系の低金属領域 ($[\text{Fe}/\text{H}] < -2.0$) の星にみられるような中性子捕獲元素の組成比 (e.g., $[\text{Ba}/\text{Fe}]$) の分散が説明できることを示した。一方、矮小銀河は単一または少数のサブハローからなるため、銀河系ハローの元素組成比のような分散ではなく、低金属領域では星の元素組成比が集合している様子が見られると予想されている (Bland-Hawthorn et al. 2010)。矮小銀河の金属欠乏星の元素組成比は銀河系の進化を紐解く上で重要であると考えられるが、暗い天体であるために Sr 等の元素を測定した例は極めて少ないのが現状である。

我々はすばる望遠鏡 HDS を用いてろくぶんぎ座矮小銀河の金属欠乏星の観測をおこなった。この矮小銀河の観測を行った先行研究 (Aoki et al. 2009, Tafelmeyer et al. 2010, Shetrone et al. 2001) によれば、 $[\text{Fe}/\text{H}] \sim -3.0$ をもつ 8 つの金属欠乏星のうち 7 つの星が同程度の $[\text{Ba}/\text{Fe}]$ (~ -1.2) をもつ。我々は、他の元素でも同様に集合するのかを確認するため、3 つの金属欠乏星の観測を行い、Sr や Ba などの中性子捕獲元素を測定した。本講演では解析の結果を報告し、銀河の化学進化モデルや銀河系の観測と比較を行う。また、矮小銀河の元素組成比の結果が与える制限について議論する。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

N23a すばる IRD による地球型惑星探査に向けた M 型星の特性決定

小泉陽平（東京工業大学）、佐藤文衛（東京工業大学）、葛原昌幸（アストロバイオロジーセンター）、大宮正士（国立天文台）、IRD チーム

近年、観測精度の向上によって、質量や半径の小さな惑星が次々と発見されており、生命が居住可能であるハビタブルゾーン内での地球型惑星の発見への期待が高まっている。そのようなハビタブル地球型惑星探査の有望なターゲットとして低質量である M 型星が注目されている。M 型星では低質量惑星でも大きな視線速度変化が生じることが利点になる。世界中で M 型星周りでの地球型惑星の探査が計画されており、日本でも、すばる望遠鏡に搭載される近赤外高分散分光器 IRD を使った観測が計画されている。IRD はすばる望遠鏡の大口径を生かすために晩期 M 型星をターゲットとしており、ハビタブルゾーン内での地球型惑星の発見と、低質量星周辺での地球型惑星の統計的理解を目標としている。

現在、IRD のサンプル選定のための事前観測が行なわれており、今回はその一環として、岡山天体物理観測所 188cm 望遠鏡と可視低分散分光器 KOOLS を用いて取得された M 型星のスペクトル型を決定し、金属量に対する制限を与えた。スペクトル型を決定する際は、特定の波長間のフラックス比として定義されるインデックスを用いた方法と、スペクトル標準星とのカイ二乗を計算する方法の二つを考慮した。また、金属量に関しては前述のインデックスを用いておおまかな制限をした。

今回の研究では約 90 天体のスペクトル型を決定し、そのうち約 20 天体は初めて分光観測からスペクトル型を決定した。多くの天体は M3M6 に分布している。また、今回観測した天体は概ね太陽金属量程度であるとわかった。今後サンプルを増やししながら、M 型星の特性決定をさらに進めて行く予定である。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

【P1. 星・惑星形成】

9月14日(水) 午前(11:00-13:12) [A会場]

P101a	11:00	動き始めた BISTRO : JCMT 搭載サブミリ波偏波計 POL-2 を用いた星形成領域の網羅的観測の現状 古屋玲 (徳島大学)
P102a	11:12	Planck cold clumps の化学進化的位置づけ 立松健一 (国立天文台)
P103a	11:24	OH 18 cm 線の吸収線で探る HCL2 領域における構造形成 (2) 海老澤勇治 (東京大学)
P104a	11:36	おうし座分子雲における低柱密度環境下での分子雲コアの検出 徳田一起 (大阪府立大学)
P105a	11:48	W3 Main における分子ガス構造と星団形成との関係の解明 2 齋藤弘雄 (東京学芸大学)
P106a	12:00	野辺山 45m 望遠鏡を用いた低温大質量クランプに対する分子輝線サーベイ 酒井剛 (電気通信大学)
P107a	12:12	ALMA 望遠鏡による小マゼラン雲内の星形成初期段階領域 N83 の高分解能観測 本間愛彩 (大阪府立大学)
P108a	12:24	大マゼラン雲における孤立した大質量原始星に付随する分子ガス観測 (3) 原田遼平 (大阪府立大学)
P109a	12:36	First detection of an extragalactic hot molecular core with ALMA 下西隆 (東北大学)
P110a	12:48	オリオン分子雲中の星形成直前の分子雲コアからの NH ₃ wing 成分の検出 大橋聡史 (東京大学)
P111a	13:00	NGC 2264 CMM3 における ALMA を用いた高空間分解能観測 渡邊祥正 (東京大学)

9月14日(水) 午後(15:00-17:12) [A会場]

P112a	15:00	KaVA Large Program: Understanding high-mass star formation through KaVA observations of water and methanol masers 廣田朋也 (国立天文台)
P113a	15:12	CORNISH H _{II} 領域を対象とした 6.7 GHz メタノールメーザー探査に基づく大質量星形成過程の研究 柴田裕輝 (茨城大学)
P114b	15:24	日立 32-m 電波望遠鏡を用いた大規模な 6.7 GHz メタノール・メーザーモニターサーベイ: 1-2ヶ月周期天体の探査 杉山孝一郎 (茨城大学)
P115b	15:24	大マゼラン雲におけるスーパージャイアントシェル LMC4 内部の H _{II} 領域 N55 の ALMA による高分解能観測 高田勝太 (大阪府立大学)
P116b	15:24	Unbiased Chemical Survey of Protostellar Sources in Perseus II 樋口あや (理化学研究所)
P117a	15:36	ALMA による低質量原始星天体 B335 の化学組成の研究 2 今井宗明 (東京大学)
P118a	15:48	星形成領域 L1527 における H ₂ CO の重水素化物の観測 吉田健人 (東京大学/理化学研究所)
P119a	16:00	Class 0 原始星コア L483 の円盤形成領域における複雑な有機分子の検出 大屋瑠子 (東京大学)
P120c		Class 0 原始星天体 IRAS 16293-2422 Source B の回転構造の解析 大屋瑠子 (東京大学)
P121a	16:12	JVLA による原始星 VLA1623 の 0.1 秒角高分解能観測 西合一矢 (大阪府立大学)
P122a	16:24	Vertical Structure of the Transition Zone from Infalling Rotating Envelope to Disk in the Class 0 Protostar, IRAS04368+2557 坂井南美 (理化学研究所)
P123a	16:36	Synthetic Observations of Early Evolution of Protoplanetary Disks 富田賢吾 (大阪大学)
P124a	16:48	TW Hya の原始惑星系円盤に対する ALMA を用いた高分解能多周波観測 塚越崇 (茨城大学)
P125a	17:00	ALMA, JVLA および Chandra による原始褐色矮星候補の同定 川邊良平 (国立天文台)

(次頁に続く)

【P1. 星・惑星形成】

9月15日(木) 午前(09:30-12:00) [A会場]

P126a	09:30	蛇遣い座領域の X 線放射原始星候補天体の多波長画像解析と物理特性調査 矢吹健(中央大学)
P127a	09:42	AKARI を用いた YSO candidates の氷吸収の観測・解析 木村智幸(東京大学)
P128a	09:54	銀河系外縁部における星生成効率 泉奈都子(国立天文台)
P129a	10:06	銀河系外縁部における低金属量星生成領域 II. Sh 2-208 の近赤外深撮像 安井千香子(国立天文台)
P130a	10:18	Vela C 分子雲の磁場構造 楠根貴成(名古屋市立大学)
P131a	10:30	衝撃波圧縮により形成されるフィラメント分子雲の構造 岩崎一成(同志社大学)
P132a	10:42	磁場に貫かれたフィラメント状分子雲の不安定性 工藤哲洋(長崎大学)
P133b	10:54	赤外線暗黒星雲“ネッシー”星雲の近赤外線偏光観測 杉谷光司(名古屋市立大学)
P134b	10:54	S106 領域の近赤外広域測光探査観測 大朝由美子(埼玉大学)
P135b	10:54	高銀緯分子雲 MBM01,02,03,32 における深い可視分光探査観測 平塚雄一郎(埼玉大学)
P136b	11:06	ブライトリム分子雲の可視分光探査 細谷謙介(兵庫県立大学)
P137b	11:06	V409 Tau の可視分光モニター観測 秋本妃奈子(兵庫県立大学)
P138b	11:06	原始惑星系円盤内縁付近から X 線アウトフローが出現する可能性についての理論的考察 高棹真介(名古屋大学)
P139b	11:18	原始惑星系円盤の光蒸発 仲谷峻平(東京大学)
P140b	11:18	大質量星形成における輻射フィードバックの金属度・降着率依存性 福島肇(京都大学)
P141b	11:18	初代星の降着成長は星の自転によって妨げられるか? 高橋実道(東北大学)

9月15日(木) 午後(13:30-15:18) [A会場]

P142a	13:30	降着エンベロープからケプラー円盤への遷移 花輪知幸(千葉大学)
P143a	13:42	アウトフローと回転円盤の整列・不整列 松本倫明(法政大学)
P144a	13:54	大質量降着率における原始星からの磁気アウトフローの駆動条件 松下祐子(九州大学)
P145a	14:06	1: A Fast Accurate Numerical Scheme for Radiation Hydrodynamics: Formation of Low Mass Protostars Torsten Stamer (Nagoya University)
P146a	14:18	流体力学シミュレーションにおける高速自己重力計算手法の提案 平井遼介(早稲田大学)
P147a	14:30	宇宙の進化と星形成過程の変遷 樋口公紀(九州大学)
P148a	14:42	宇宙論的環境下における超大質量星形成シミュレーション 鄭昇明(東京大学)
P149a	14:54	金属欠乏星は形成時から金属を持っていたか 千秋元(甲南大学)
P150a	15:06	超大質量星が重力崩壊する際に起きる核融合反応の効果について 打田晴輝(京都大学)

P101a **動き始めた BISTRO : JCMT 搭載サブミリ波偏波計 POL-2 を用いた星形成領域の網羅的観測の現状**

古屋 玲¹, 麻生 有佑², 犬塚 修一郎³, 井上 剛志⁴, 岩崎 一成⁵, 大橋 永芳⁴, 尾中 敬², 川端 弘治⁶, 権 静美⁷, 新永 浩子⁸, 田村 元秀², 塚本 祐介⁹, 土井 靖生², 富阪 幸治⁴, 中西 裕之⁸, 中村 文隆⁴, 林 左絵子⁴, 表 泰秀⁴, 松村 雅文¹⁰, Derek Ward-Thompson 他, BISTRO Consortium (¹ 徳島大, ² 東大, ³ 名大, ⁴ NAOJ, ⁵ 同志社大, ⁶ 広島大, ⁷ 宇宙研, ⁸ 鹿児島大, ⁹ 理研, ¹⁰ 香川大)

ジェームズ・クラーク・マクスウェル望遠鏡 (JCMT) に新たに搭載されたサブミリ波偏波計 POL-2 (Bastien, P. et al. in prep) とポロメーター SCUBA2 を用いた, 星形成領域に対する網羅的観測 (B-fields In STar forming Region Observations; BISTRO) の現状を報告する. 本計画は, JCMT の大規模観測 (large program) のひとつとして, 昨年冬, 採択された. 機械的偏波を除去する手法の確立に一昨年から取り組み, SCUBA2 のスキャンパターンとの噛み合わせ評価試験を経て, 本年 5 月より科学的観測を開始した. BISTRO を構成するのは, 英国, カナダ, 中国, 台湾, 韓国, 日本および東アジア天文台 (EAO) の百名を超える研究者であり, 観測期間は 3 年間である.

BISTRO ではゴールドベルトに存在する分子雲に対し, 波長 $850 \mu\text{m}$ 帯において Stokes I マップの感度 $\simeq 2 \text{ mJy per } 14 \text{ 秒角}$ ビームで偏波撮像観測を行う. その科学的目標は, 次のようにまとめられる. (1) さまざまな分子雲に対して, 低密度領域から高密度領域に至るまでの偏波の方向と偏波率のマップを得ること, (2) 偏波機構が磁場によるダストの整列によるものかを検証すること, (3) ダスト整列が磁場によることが明らかになった場合, 分子雲の形成および進化, 分子雲コアの重力収縮, 原始星形成, ジェットや分子流の駆動機構に関して, 磁場を組み込んだ理論モデルの予測を検証すること, (4) ALMA などを用いた, 次の研究計画を立案することである.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P102a **Planck cold clumps の化学進化的位置づけ**

立松健一 (国立天文台), Tie Liu (KASI), 大橋聡史 (東大), P. Sanhueza, Q. Nguyen Luong, 廣田朋也 (国立天文台), 平野尚美 (ASIAA), M. Choi (KASI), M. Thompson (Hertfordshire 大), S.-Y. Liu (ASIAA), G. Fuller (Manchester 大), Y. Wu (北京大), D. Li (中国国家天文台), J. di Francesco (カナダ NRC), K.-T. Kim (KASI), K. Wang (ESO), I. Ristorcelli (RIAP), M. Juvela (Helsinki 大), 新永浩子 (鹿児島大), M. Cunningham (New South Wales 大), 齋藤正雄 (国立天文台), JCMT SCOPE および TRAO TOP プロジェクト・チーム

Planck 全天サーベイをもとに低温分子雲サーベイを地上ミリ波サブミリ波望遠鏡を駆使して行っている。本講演では JCMT/SCUBA-2 と野辺山 45 m 鏡を用いた観測を紹介する。SCUBA-2 で検出されたクランプ十数個を野辺山 45 m 鏡で観測した結果、早期型分子である CCS の検出率は 60% に達した。これは、オリオン A 巨大分子雲内クランプでの値より高く、暗黒星雲での検出率に匹敵する。クランプのダストの分布は、 N_2H^+ とほぼ同じである一方、 HC_3N , CCS の分布はより広がっている。CCS が検出されたクランプの CCS の分布は clumpy である。G089, G157 において、 N_2H^+ クランプが CCS で取り囲まれる分布を見出した。これは動的降着が観測されている星なしコア L1544 に類似しており、大変興味深い。クランプの中心方向で DNC, $HN_{13}C$, N_2D^+ , c- C_3H_2 の一点観測を行った。 N_2D^+ の検出率は 30% である。CCS の検出の有無、 N_2H^+/CCS , DNC/ $HN_{13}C$, N_2D^+/N_2H^+ の柱密度比をもとにして、クランプの化学進化段階を探った。G149, G192N, G207N, G224 は化学的に進化している。G089 および G157 は化学的進化段階は若い。G108N と G204 は中間段階と考えられる。 NH_3 観測も行い、ほとんどのクランプで運動温度が 14K 程度以下と、ダストで見積もった温度と同程度であることが確認された。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P103a OH 18 cm 線の吸収線で探る HCL2 領域における構造形成 (2)

海老澤勇治 (東京大学), 前澤裕之 (大阪府立大学), 坂井南美 (理化学研究所), Karl Menten (MPIfR), 山本智 (東京大学)

OH 18 cm 線は、OH 分子の複雑な回転エネルギー準位の構造に由来して、超微細構造遷移線 (1612, 1665, 1667, 1720 MHz) に強度異常を示すことが知られている。特に、おうし座の HCL2 領域の東部にある希薄な分子雲 HCL2E では、1612 MHz 線が宇宙背景放射に対する吸収線として検出された。我々は、この結果を解析することで、OH 18 cm 線を分子雲に対する良い温度計として利用できることを示した (Ebisawa et al. 2015)。

一方で、これとは逆に、最近我々が行った OH 18 cm 線の観測では、HCL2 領域の北部にある特徴的な直線構造において、1720 MHz 線が吸収線として検出された。同時に、1612 MHz の吸収線がより赤方偏移した成分で検出された。このスペクトルを ^{13}CO , C^{18}O の強度マップと比較したところ、直線構造は南西に広がった温かいガスの圧縮によって形成された可能性があることがわかった (2015 年春季年会 P114a)。さらに、1720 MHz 線の吸収線が現れる条件を調べることで、HCL2 領域の直線構造の起源を探ることができると考えられる。

2016 年の春季年会 (P107a) で報告したように、LVG 近似を用いた統計平衡計算にダストの遠赤外線放射の効果を考慮することで、1720 MHz 線の吸収線を再現できることがわかってきた。今回我々は、この計算を発展させ、1720 MHz の吸収線が現れる物理条件をより詳細に調べた。その結果、高い柱密度 ($> 10^{15} \text{ cm}^{-2}$) かつ低温 ($< 20 \text{ K}$) が必要であることがわかった。即ち、1720 MHz の吸収線は温度が下がった直線構造の内部の構造を反映している可能性がある。これらの計算結果を、直線構造に垂直なストリップに対する OH 18 cm 線の観測結果と合わせて議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P104a おうし座分子雲における低柱密度環境下での分子雲コアの検出

徳田一起, 森岡祐貴, 前澤裕之, 西合一矢, 大西利和 (大阪府立大学), 河村晶子 (NAOJ), 立原研悟, 福井康雄 (名古屋大学)

近年のミリ波・サブミリ波の観測的研究により、高密度分子ガス塊の観測的研究は大きく進み、 H_2 個数密度 10^5 cm^{-3} 程度の分子雲コアの性質が、星の初期質量関数を決定している可能性が高いことなどが明らかになってきた (e.g., Onishi et al. 2002)。これら分子雲コアの探査は、比較的光学的に厚い輝線から薄い輝線への戦略的な観測領域の絞り込みが強い威力を發揮してきたが、それでもおうし座分子雲における 10^5 cm^{-3} 程度の分子雲コアの大規模な探査は H_2 柱密度が 10^{22} cm^{-2} を超える領域が中心であった。それよりも柱密度が低い環境下に潜む分子雲コアをあぶり出し、その性質や滞在数、星形成との関連などの調査にはさらに大規模な探査を大小口径望遠鏡を駆使して行う必要があった。我々は大阪府大 1.85m 鏡の ^{12}CO , ^{13}CO , C^{18}O (2-1) によるおうし座分子雲の全域無バイアス観測に基づき、野辺山 45m 鏡を用いた C^{18}O , H^{13}CO^+ 輝線等による低柱密度環境下における分子雲コアの観測を推進しており、これまでに 4 天体観測した。その結果、HCL2 領域の端に位置する MC45 と名付けた天体で H^{13}CO^+ 輝線が検出され、 10^5 cm^{-3} 程度の分子雲コアであることが分かった。おうし座分子雲の他のコアと比べると最も小さい ($M_{\text{vir}} \sim 0.7 M_{\odot}$, $R \sim 0.03 \text{ pc}$) もの 1 つに分類され、周辺の柱密度が $\sim 3 \times 10^{21} \text{ cm}^{-2}$ と同領域の中で最も低い。また、 N_2H^+ の輝線強度が弱く (tentative detection, $T_A^* \sim 0.07 \text{ K}$)、ダスト連続波より求めた H_2 柱密度に対する N_2H^+ の相対量が他の分子雲コア (e.g., Tatematsu et al. 2004) よりも数倍程度低いことから比較的若い段階にある可能性がある。この MC45 には ^{13}CO 輝線で 2 つの異なる速度成分が見られ、これらの作用が低柱密度環境下において分子雲コア形成に影響を与えた可能性が考えられる。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P105a **W3 Main における分子ガス構造と星団形成との関係の解明 2**

齋藤弘雄, 土橋一仁 (東京学芸大学), 齋藤正雄 (野辺山宇宙電波観測所)

銀河系内におけるほとんどの星は星団として形成され、近年の研究より星団は 0.5 pc 前後のクランプ構造を母体として形成されることがわかってきた。W3 Main 領域は W3-W4-W5HII 領域複体内でも非常に若い星形成領域であり、IRS5 大質量原始星群を初めとする多くのコンパクト HII 領域が存在する星団形成領域である。また、EAST, WEST, SE と呼ばれた高密度クランプの存在も知られている。

本研究は、W3 Main 領域における星団形成とガス構造の関係を調べるため、分子ガスの構造や運動状態をより詳細に調査した。その結果、高密度クランプ W3 EAST と W3 WEST が衝突している可能性があることがわかった。W3 EAST と W3 WEST の速度差は 3 km/s 前後であり、S87HII 領域で見られたクランプ-クランプ衝突の速度差と同程度であった (27 年度秋季年会)。また、W3 WEST の東側と南側の強度分布には圧縮を受けた様な急激な勾配が存在し、これら領域に隣接する W3 EAST の領域では接触面に沿って伸びた構造が存在することもわかった。この分子ガスの形状から W3 EAST は北西へ、W3 WEST は南西へ移動しつつ衝突したと考えられる。次に、衝突による星形成の影響について調査した。W3 WEST の東側に見られる伸びた構造内には IRS4 UCHII 領域などのコンパクト HII 領域は存在するが、明らかな大質量原始星は存在していない。また、衝突領域で見られる他の伸びた構造にも星形成の兆候は存在しない。さらに、W3 EAST の構造を詳細に調査すると W3 WEST の速度に近い成分では W3 WEST が通過した「穴」が顕著には見られない。これらの結果から W3 EAST と WEST は衝突途中であり、今まさに高密度ガス構造を形成している最中だと考えられる。本講演では、W3 Main の周囲の環境や W3 分子雲全体との関係も踏まえ、クランプ-クランプ衝突に至った要因について議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P106a 野辺山45m望遠鏡を用いた低温大質量クランプに対する分子輝線サーベイ

酒井剛 (電通大), 古家健次, 相川祐理 (筑波大), 坂井南美 (理研), 廣田朋也 (国立天文台), 渡邊祥正, 山本智 (東大)

大質量星の形成過程を明らかにするためには、その初期状態を理解することが重要である。しかし、最近まで、大質量星形成以前の状態にある分子雲クランプのサンプルが少なく、大質量星形成の初期状態は未だ明らかにされていない。最近、Traficante ら (2015) は、Herschel 望遠鏡による銀河面サーベイのデータから、大質量星形成を起こす可能性が高く、かつ星形成を伴わないと考えられる分子雲クランプ、171 天体を同定した。我々は、それら分子雲クランプから、距離が 5 kpc 以内、質量 $> (1300(\text{半径}/\text{pc})^{1.33})M_{\odot}$ の条件を満たす 55 天体を選び、野辺山 45m 望遠鏡を用いた分子輝線のサーベイ観測を行った。観測には T70 受信機を使用した。観測を行った分子輝線は、DNC $J=1-0$, $\text{HN}^{13}\text{C } J=1-0$, $\text{SiO } J=2-1$, $\text{N}_2\text{D}^+ J=1-0$, $\text{H}^{13}\text{CO}^+ J=1-0$, $\text{H}^{13}\text{CN } J=1-0$ などである。

観測の結果、55 天体中 51 天体で HN^{13}C 輝線を検出し、32 天体で SiO 輝線を検出した。 SiO が星形成に起因すると考えると、多くの低温大質量クランプで既に星形成が起きていることを示唆している。さらに、DNC/ HN^{13}C 比を見ると、同じような温度 (~ 10 K) にある天体でも、その値に有意なばらつきがみられた。このばらつきの原因として、分子雲クランプの形成タイムスケールの違いなどが考えられる。講演では、化学モデル計算との比較や、 H^{13}CN , H^{13}CO^+ などのデータも加え、DNC/ HN^{13}C 比のばらつきの原因、低温大質量クランプの性質について議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P107a **ALMA 望遠鏡による小マゼラン雲内の星形成初期段階領域 N83 の高分解能観測**

本間愛彩, 大西利和, 西合一矢, 村岡和幸, 徳田一起, 原田遼平, 森岡祐貴, 高田勝太 (大阪府立大学), 河村晶子, Erik Muller, 水野範和, 南谷哲宏 (NAOJ), 福井康雄 (名古屋大学), Margaret Mexiner, Omnarayani Nayak (Johns Hopkins), Remy Indebetouw (NRAO), Jonathan Seale (Mullard Space Science Lab), Marta Sewilo (NASA), Alberto Bolatto (Univ. of Maryland)

小マゼラン雲 (SMC) は、銀河系から最も近い (距離 $\sim 60\text{kpc}$) 銀河の 1 つである。銀河系と比較して、重元素量が約 $1/10$ という特徴を持つ。観測対象とした N83C は、SMC のバー部分から孤立した Wing 部分に位置する活発な星形成領域であり、 H II 領域の淵に沿って分子雲が分布し、*Spitzer source* が分子雲内に数個付随している。ASTE 望遠鏡を用いた ^{12}CO , ^{13}CO ($J=3-2$) の観測から、温度が高く且つ高密度な分子雲である事が分かっていた。以上の理由から、我々は ALMA 望遠鏡を用いて、低重元素量環境での分子雲構造や星形成過程を調査するため、SMC の N83C をターゲットに CO ($J=2-1, 3-2$) 及びその同位体等の輝線観測を ALMA を用いて行った。N83C 分子雲北部では、輝線強度比より見積もった温度が高いため、原始星が進化し周囲の分子ガスを加熱/散逸させつつある事が分かり、南部では C^{18}O ($J=2-1$) 輝線のスペクトルを検出出来た事から、分子ガスの密度が高く星形成活動が今後さらに活発になると推測できる。また、 ^{12}CO の Virial mass より X_{CO} factor を求めた結果、 $1 \times 10^{21} \text{ cm}^{-2} (\text{K km s}^{-1})^{-1}$ となり、これは銀河系分子雲の値より一桁程度大きい。この Virial mass や ^{12}CO , ^{13}CO 輝線の LVG 解析より導出した水素分子個数密度は $\sim 10^4 \text{ cm}^{-3}$ 程度となり、N83C においては ^{12}CO 分子が銀河系分子雲と比較して一桁近く高い密度領域をトレースしている可能性が分かった。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P108a 大マゼラン雲における孤立した大質量原始星に付随する分子ガス観測 (3)

原田遼平, 大西利和, 徳田一起, 森岡祐貴, 高田勝太, 本間愛彩, 西合一矢 (大阪府立大学), 河村晶子, Erik Muller (NAOJ), 福井康雄 (名古屋大学), Annie Hughes, Jean-Philippe Bernard (IRAP), Margaret Mexiner (STScI), Omnarayani Nayak (Johns Hopkins Univ.), Marta Sewilo (NASA/GSFC), Remy Indebetouw (Univ. of Virginia, NRAO), Tony Wong (Univ. of Illinois)

大質量星のほとんどは巨大分子雲 ($10^5 M_{\odot}$ 以上) の中で形成されると考えられている。しかし、一部の大質量原始星は巨大分子雲から遠く離れた場所に存在するが、その起源は未だ知られていない。最近、大小マゼラン雲において、*Spitzer*, *Herschel* の観測により、巨大分子雲から離れている孤立した大質量原始星が多く存在することが報告されているが、その母体となる分子雲の情報は得られていなかった。我々は、大マゼラン雲 (LMC) において、1. 「なんてん」で検出された分子雲から 200 pc 以上離れているという条件の下で、大質量原始星方向を Mopra 望遠鏡を用いて CO(1-0) 観測し、2. 分子ガスが検出された天体に関しては、ALMA による高分解能観測 ($^{13}\text{CO}(1-0, 2-1)$, $^{12}\text{CO}(2-1)$ 等) を行った。Mopra で CO を検出したすべての天体から原始星付近でピークを持つ、質量数百から数千太陽質量、大きさ数 pc のコンパクトな分子雲を検出した (原田ほか 2015 年秋季年会)。 $^{12}\text{CO}(2-1)$ のピリアル質量より、Xco-factor を求めたところ、 $\sim 5 \times 10^{20} \text{ cm}^{-2} (\text{K km s}^{-1})^{-1}$ となり、孤立環境下においても、LMC の巨大分子雲領域で求められた値とほぼ等しい。ピリアル質量から求めた水素分子個数密度は、 $\sim 10^4 \text{ cm}^{-3}$ であり、銀河系内の大質量星形成領域である Orion 領域等の ^{12}CO 分子雲よりも高いことがわかった。いくつかの天体では複数のフィラメント状の速度成分が見られ、分子雲同士の相互作用が大質量星形成につながった可能性がある。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P109a First detection of an extragalactic hot molecular core with ALMA

下西隆 (東北大学), 尾中敬 (東京大学), 河村晶子 (国立天文台), 相川祐理 (筑波大学)

We report the first detection of a hot molecular core outside our Galaxy based on submillimeter observations with ALMA toward a high-mass young stellar object (YSO) in a nearby low metallicity galaxy, the Large Magellanic Cloud (LMC) (Shimonishi et al. 2016, ApJ, in press, arXiv:1606.02823). Molecular emission lines of CO, C¹⁷O, HCO⁺, H¹³CO⁺, H₂CO, NO, SiO, H₂CS, ³³SO, ³²SO₂, ³⁴SO₂, and ³³SO₂ are detected from a compact region (~0.1 pc) associated with a high-mass YSO, ST11. The temperature of molecular gas is estimated to be higher than 100 K based on rotation diagram analysis of SO₂ and ³⁴SO₂ lines. The compact source size, warm gas temperature, high density, and rich molecular lines around a high-mass protostar suggest that ST11 is associated with a hot molecular core. We find that the molecular abundances of the LMC hot core are significantly different from those of Galactic hot cores. The abundances of CH₃OH, H₂CO, and HNCO are remarkably lower compared with Galactic hot cores by at least 1–3 orders of magnitude. We suggest that these abundances are characterized by the deficiency of molecules whose formation requires the hydrogenation of CO on grain surfaces. In contrast, NO shows a higher abundance in ST11 than in Galactic sources despite the notably low abundance of nitrogen in the LMC. A multitude of SO₂ and its isotopologue line detections in ST11 imply that SO₂ can be a key molecular tracer of hot core chemistry in metal-poor environments. In this presentation, we discuss physical and chemical characteristics of a hot molecular core in the low metallicity galaxy.

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

P110a オリオン分子雲中の星形成直前の分子雲コアからのNH₃ wing成分の検出

大橋聡史 (東京大学/NAOJ), 立松健一, Patricio Sanhueza, Quang Luong Nyuyen, 廣田朋也, 水野範和 (NAOJ), Minhho Choi (KASI)

我々は星なし分子雲コア (TUKH122) に対して野辺山 45m 電波望遠鏡を用いて NH₃ 分子輝線の高速度分解能 ($\sim 0.05 \text{ km s}^{-1}$) の 1 点観測を行った。TUKH122 は、Jansky Very Large Array によって NH₃ コアとそれを囲むように分布する CCS 輝線を明らかにしている (Tatematsu et al. 2014)。この形状は、原始星降着運動を示す、おうし座分子雲の L1544 分子雲コアと酷似しており、TUKH122 コアは星形成直前である可能性が高い。今回、NH₃ の高感度観測を行うことで NH₃ ($J, K = 1, 1$) と ($J, K = 2, 2$) 輝線を検出することに成功した。

NH₃ の超微細構造線をフィットすることで運動温度が 11 K、線幅 0.3 km s^{-1} であることがわかった。これは、分子雲コアの典型的な温度で内部に熱源がなく、乱流もほとんど散逸し、熱的運動が優勢であることを示す。さらに NH₃ ($J, K = 1, 1$) 輝線では熱的運動成分 ($V_{\text{LSR}} = 3.7 \text{ km s}^{-1}$, $\Delta v = 0.3 \text{ km s}^{-1}$) だけでなく乱流 (wing) 成分 ($V_{\text{LSR}} = 4.4 \text{ km s}^{-1}$, $dv = 1.4 \text{ km s}^{-1}$) を新たに発見した。¹³CO ($J = 1 - 0$) と CS ($J = 2 - 1$) の観測からも中心速度 $V_{\text{LSR}} = 4.4 \text{ km s}^{-1}$ で乱流が卓越する ($\Delta v > 1.5 \text{ km s}^{-1}$) ことから NH₃ の wing 成分は ¹³CO や CS と同様にまわりのガスを見ていると考えられる。NH₃ の熱的運動成分と乱流成分の同時検出と中心速度の差は、乱流が急激に散逸し、コヒーレントな高密度分子雲コアを形成していることを示唆する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P111a **NGC 2264 CMM3 における ALMA を用いた高空間分解能観測**

渡邊祥正 (東京大学)、坂井南美 (理研)、酒井剛 (電気通信大学)、廣田朋也 (国立天文台)、山本智 (東京大学)

NGC 2264 領域は Orion KL に次ぐ太陽系近傍 (~ 738 pc: Kamezaki et al. 2014) の大質量星形成領域である。この領域の CMM3 は、最終的に $8 M_{\odot}$ の主系列星に成長すると理論モデルから予想されている大質量星原始星である。我々は、4 mm、3 mm、0.8 mm 帯のスペクトル線サーベイ観測を国立天文台野辺山 45 m 望遠鏡と ASTE 望遠鏡を用いて行い、炭素鎖分子や重水素化合物が豊富であることから、化学組成の側面からも若い段階の原始星であることを明らかにしてきた (Watanabe et al. 2015)。本研究では、この天体の物理・化学構造をさらに詳細に調べるため、0.8 mm 帯のスペクトル線サーベイ観測を ALMA (cycle-2) を用いて行なった。

ALMA の観測では 336 GHz から 363 GHz の周波数範囲を約 $0.4'' \times 0.3''$ の空間分解能で観測した。0.8 mm 帯の連続波のマップから、これまで単独の原始星であると考えられてきた CMM3 は離角が約 $0.9''$ の連星系であることが明らかになった。最も強い連続波源 (CMM3A) には数多くの分子輝線が付随しているが、隣の連続波源 (CMM3B) にはあまり分子輝線が見られないことから、2つの原始星の進化段階に違いがある可能性が考えられる。さらに CMM3 の周囲で 4 つ連続波点源を検出したが、近赤外線に対応天体が存在することからこれらの天体は比較的進化の進んだ原始星と考えられる。また、CO(3-2) の分布から、Saruwatari et al. (2011) で検出された CMM3 を中心とする南北の分子流に加え、南西方向に沿った細い分子流を検出した。新たに検出した分子流は、CMM3B からの分子流であるか、あるいは、CMM3A がさらに連星であることを示唆する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P112a **KaVA Large Program: Understanding high-mass star formation through KaVA observations of water and methanol masers**

廣田朋也, Hachisuka Kazuya, Kim Jeong-Sook, Matsumoto Naoko, Motogi Kazuhito, Shino Nagisa, Sunada Kazuyoshi, Wu Yuanwei (国立天文台), Sugiyama Koichiro (茨城大学), Chibuze James (University of Nigeria), Kim Kee-Tae, Byun Do-Young, Kim Jong-Soo, Kim Mikyoung, Liu Tie, Oh Chung Sik (KASI)

We have started a systematic observational study of the 22 GHz water and 44 GHz class I methanol masers in high-mass star-forming regions as a four-year KaVA (KVN and VERA Array) large program since 2016. The primary science goal is to understand dynamical evolution of high-mass young stellar objects (HM-YSOs) and their circumstellar structures by measuring spatial distributions and 3D velocity fields of water and methanol maser features. Our sample consists of 87 HM-YSOs in various evolutionary phases, many of which are associated with multiple maser species. In the first year, we will carry out snap-shot imaging survey to search for suitable target sources. Based on these results, multi-epoch monitoring observations will be started to measure proper motions of selected target sources from the second year. By combining follow-up observations with VERA (astrometry), JVN/EAVN (6.7 GHz class II methanol masers), ALMA (thermal molecular lines and continuum), and other available data, we will reveal physical properties and 3D dynamical structures of disk/jet/outflow/UCHII/infalling envelope, and their relationship between evolutionary phases of HM-YSOs.

In this talk, we will present brief summary of our large program and show the initial results.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P113a **CORNISH H_{II} 領域を対象とした 6.7 GHz メタノールメーザー探査に基づく大質量星形成過程の研究**

柴田 裕輝, 杉山 孝一郎, 米倉 覚則, 百瀬 宗武 (茨城大学)

6.7 GHz メタノールメーザーと H_{II} 領域は、大質量星形成領域を探る上で有力なツールである。しかし 6.7 GHz メタノールメーザーの出現・消失時期の詳細は不明なため、メタノールメーザーが付随する大質量星がどの進化段階にあるかをの明確な位置付けを与えることは困難であった。H_{II} 領域との関連性が明らかになれば、6.7 GHz メタノールメーザーの観測を通じて大質量星の形成過程のさらなる解明が期待できる。過去に Australia Telescope Compact Array (ATCA) による 6.7 GHz メタノールメーザー及び Ultra Compact (UC) H_{II} 領域 (0.010.1 pc) のマッピングが行われた (Walsh et al. 1998)。しかしこの研究では、それ以前にメーザーが検出されている領域に限定した観測がされており、選出天体に偏りがあった。

そこで本研究では、H_{II} 領域に対する 6.7 GHz メタノールメーザーの無バイアスな付随率を得るべく、Co-Ordinated Radio 'N' Infrared Survey for High mass star formation (CORNISH) データベース (Purcell et al. 2013) に記載された 289 の H_{II} 領域を対象に 6.7 GHz メタノールメーザーのサーベイ観測を実施した。観測には日立 32m 鏡を使用し、検出感度 1.5Jy を達成した。メーザー付随の有無に依存して H_{II} 領域のサイズに違いがあるかを調べるため、両者でサイズに対する累積頻度分布を作成した。その結果、H_{II} 領域とメーザーの両者が付随関係にある割合は 15%程度と低く、かつメーザーが付随する H_{II} 領域のサイズは付随しない H_{II} 領域に比べて小さい傾向が確認された。この結果は、先行研究に一致する。H_{II} 領域が時間とともに膨張すると仮定すると、H_{II} 領域の形成より先にメーザーが出現することを示唆している。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P114b **日立 32-m 電波望遠鏡を用いた大規模な 6.7 GHz メタノール・メーザーモニターサーベイ: 1-2ヶ月周期天体の探査**

杉山孝一郎, 米倉覚則, 齋藤悠, 佐藤宏樹, 宮本祐輔, 青木健悟, 山口貴大, 百瀬宗武 (茨城大学), 元木業人, 本間希樹, 内山瑞穂, 蜂須賀一也 (国立天文台), 藤沢健太 (山口大学), 稲吉恒平 (コロンビア大学), 田中圭 (フロリダ大学), 細川隆史 (東京大学)

我々は、茨城大学の日立 32-m 電波望遠鏡を用いて、2012年12月30日から、6.7 GHz メタノール・メーザー 442 天体 (赤緯 -30 度以北) を対象としたモニターサーベイ観測を開始した。本モニター研究では、特に周期的な強度変動を示す天体に注目しており、最終目的の1つとして、大質量原始星時代に生じ得ると理論予言されている脈動不安定現象 (Inayoshi et al. 2013)、及びそれに伴う周期-光度関係を観測的に検証するため、周期変動天体のサンプル増加と統計的な議論を目指している。

今回は、1ヶ月程度もしくはそれより短い周期を示す天体の検出を目指し、2015年9月18日 (一部は8月9日) から開始した第3期モニターの観測結果を報告する。第3期では、これまでの日立モニター天体から、強度変動の大きな161天体 ($[\text{標準偏差}]/[\text{平均値}] \geq 0.30$) を選出し、各天体あたり5日に1度以上の頻度でデータを取得している。2016年6月8日時点では、18天体から3サイクル以上の周期変動を検出 (周期: 20-75日) しており、内10天体からの新検出と、既知2天体に対する新周期検出を達成している。これより、1-2ヶ月と短い周期変動を示す天体の検出率は11%である。本講演では、上記検出率と、各天体の周期変動傾向 (sinusoidal or intermittent) を元にした、脈動起因と考えられる周期変動天体の選定、及びそれを用いた周期-光度関係の最新結果を紹介する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P115b 大マゼラン雲におけるスーパージャイアントシェル LMC4 内部の H II 領域 N55 の ALMA による高分解能観測

高田勝太, 原田遼平, 徳田一起, 森岡祐貴, 本間愛彩, 西合一矢, 大西利和 (大阪府立大学), 河村晶子, Erik Muller, Naslim Neelamkodan (NAOJ), Remy Indebetouw (Univ. of Virginia; NRAO), Margaret Mexiner (STScI), Marta Sewilo (Johns Hopkins Univ.), 西村淳, 福井康雄 (名古屋大学)

大マゼラン雲 (LMC) には、超新星爆発の名残であるスーパージャイアントシェル (SGS) が多数存在している。SGS の一つである LMC4 は直径 1.5 kpc であり、LMC において最大のシェル状構造である。N55 は、この LMC4 のキャビティ内において唯一観測された分子雲を伴っている H II 領域である。我々は、この N55 領域分子雲の ALMA による全面観測観測 ($\sim 4' \times 6'$) を推進しており、Cycle 1 では $^{13}\text{CO}(1-0)$ 輝線等により、 $10^{2-3} M_{\odot}$ のコンパクトな分子雲が *Spitzer* 8 μm で確認されるフィラメント状構造に沿って分布している事等を明らかにしてきた (原田ほか 2015 年春年会)。新たに Cycle 2 で行った $^{12}\text{CO}(1-0)$ 輝線の観測では、Cycle 1 での観測と同様に、Missing Flux はほぼ確認されなかったことから N55 領域には広がった成分がほとんど存在しないという事が示唆される。これは H II 領域やシェルの影響を受けて分子ガスが解離されている可能性が考えられる。また、 $^{12}\text{CO}(1-0)$ により捉えられた分子雲を Dendrogram 手法を用いて階層構造に分解し、最も下位の構造 (trunk) でクランプの分離を行ったところ約 60 個が同定され、それらのビリアル質量は、 $10^2 - 10^4 M_{\odot}$ 程度である事が分かった。これらのうち十数個のクランプに原始星が付随しており、銀河系内の大質量形成領域である Orion 分子雲等とは異なり、孤立したコンパクトな分子雲から中大質量原始星が誕生している事が分かる。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P116b **Unbiased Chemical Survey of Protostellar Sources in Perseus II**

樋口あや, 坂井南美 (理化学研究所), 大屋瑠子, 今井宗明, 渡邊祥正, 山本智 (東京大学), Ana Lopez-Sepulcre (IRAM), 酒井剛 (電通大), 廣田朋也 (国立天文台)

It is well known that low-mass protostellar cores show significant chemical diversity. One distinct case is hot corino chemistry characterized by rich saturated complex organic molecules, while the other case is warm carbon chain chemistry (WCCC) characterized by rich carbon-chain molecules. However, the number of sources definitively classified into each category is limited, and the statistics has been apparently poor. We recently conducted an unbiased survey of chemical composition toward 34 Class 0 and Class I protostars in the Perseus molecular cloud complex by using IRAM 30 m telescope (1.2 mm band) and NRO 45 m telescope (3mm band).

We detected multi-transition lines of CCH, *c*-C₃H₂ and CH₃OH toward most of the sources. According to the line intensity, the result shows chemical diversity, where many intermediate sources are found between the two distinct cases (see P124a; 2015 ASJ meeting). In the present study, we calculated the column density and temperature of CCH, *c*-C₃H₂ and CH₃OH, by using multi-transition lines. As a result, we confirmed that the range of chemical diversity ($[\text{CH}_3\text{OH}/\text{CCH}]$) is higher than the previous report. The relative occurrence of each category as well as preferential association of the sources in each category with a specific part of the cloud complex will give us an important clue to understanding the origin of the chemical diversity in terms of evolutionary and/or environmental effects.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P117a ALMA による低質量原始星天体 B335 の化学組成の研究 2

今井 宗明 (東大), 坂井 南美 (理研), 大屋 瑤子, Ana López-Sepulcre, 渡邊 祥正, 山本 智 (東大)

これまでの研究で、低質量原始星天体のエンベロープには、化学組成に多様性があることが知られてきた (Sakai and Yamamoto 2013)。また、ALMA による観測で 100AU スケールでの化学組成も天体によって大きく異なることが最近わかってきた (Sakai et al. 2014; Oya et al. 2016)。このような化学組成の違いは星形成の物理過程に起因していると考えられ、それらの間の理解は星形成分野の重要な研究テーマである。

本研究では孤立した星形成領域にある低質量原始星天体 B335 に着目し、その 100AU スケールでの化学組成を ALMA (Cycle-2) の Band 6 のデータを用いて調べた。その結果、B335 は飽和有機分子に恵まれる Hot Corino 天体であることがわかった (2016 春季年会 P219a)。検出された複雑な有機分子 (CH_3CHO , HCOOCH_3 , NH_2CHO など) の柱密度および H_2 に対する存在量比を求めたところ、代表的な Hot Corino 天体 IRAS16293-2422 と同程度であることがわかった。また、大質量星形成領域の Hot Core と比較して CH_3CHO が多く、 HCOOCH_3 や NH_2CHO が少ない傾向も同様であった。これは、B335 が Hot Corino 天体であることを支持する証拠である。しかし、今まで知られている Hot Corino 天体と異なる性質も見つってきている。例えば、炭素鎖分子 $c\text{-C}_3\text{H}_2$ について他の低質量原始星と比較してみると、WCCC 天体 L1527 より少ないものの、Hot Corino と WCCC の中間的な性質を示すと考えられている R CrA (Watanabe et al. 2012) と比べてより多くの炭素鎖分子が存在していることがわかった。Hot Corino 天体では炭素鎖分子は一般的に少ないので、この結果は Bok globule である B335 の特徴である可能性が考えられる。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P118a 星形成領域 L1527 における H_2CO の重水素化物の観測

吉田 健人 (東大/理研)、坂井 南美 (理研)、渡邊 祥正、山本 智 (東大)

低温の分子雲では分子に重水素が濃縮する現象が知られている(重水素濃縮)。重水素濃縮は低温の星なしコア時代において効率よく進行し、星形成直前にかけて最も高くなる。その中でも特に、星なしコア時代にダスト上で CO に水素が付加することにより作られた飽和有機分子は、星形成が起こって温度が上昇すると気相中に蒸発し、高い重水素濃縮度を示す。この現象は特に Hot Corino 天体で報告されてきたが、WCCC 天体で同様の現象が見られるかどうか興味を持たれる。

そこで、我々はおうし座にある Class 0 原始星 L1527 に対して、IRAM 30 m 望遠鏡を用いたラインサーベイ観測を行い、 H_2CO とその重水素化物 (HDCO , D_2CO) および H_2^{13}CO を解析した。その結果、 H_2CO の ^{13}C 同位体から求めた $\text{HDCO}/\text{H}_2\text{CO}$ 比は、 $^{12}\text{C}/^{13}\text{C}=60$ と仮定すると 10% 程度となった。一方で、 $\text{H}_2\text{C}^{18}\text{O}$ のラインから ^{13}C 同位体が希釈している ($^{12}\text{C}/^{13}\text{C}=230 \pm 80$) ことが示唆される。このため、重水素濃縮度は数% である可能性が高く、その場合、他の気相由来の分子の値と同程度といえる。一方、 $\text{D}_2\text{CO}/\text{HDCO}$ 比は 50% を超える高い値を示した。ALMA Cycle 0 観測で H_2CO と D_2CO の分布を比較したところ、 H_2CO は原始星近傍 500 AU 程度の回転しながら落下するエンベロープに存在している一方で、 D_2CO は H_2CO に見られるような高速度成分はなく、かわりにその外側 1000 AU 程度の領域に分布していた。 H_2CO は気相およびダスト上の両方で生成されるが、重水素濃縮はダスト上で加速すると考えられるため、 D_2CO はダストから熱的に蒸発してくると予想されていた。しかし、今回の結果は温度の低い外側のエンベロープの気相中に D_2CO が偏在していることを示唆する。本講演では、これらの結果をもとに、 H_2CO およびその重水素化物の生成メカニズムについて議論する。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

P119a **Class 0 原始星コア L483 の円盤形成領域における複雑な有機分子の検出**

大屋瑤子, 渡邊祥正, 山本智 (東京大学), 坂井南美 (理化学研究所), Ana López-Sepulcre, Cecilia Ceccarelli, Bertrand Lefloch (IPAG, Grenoble)

原始星円盤は惑星系の母体であり、その物理的・化学的性質の理解は、惑星系の起源を探求する上で重要な課題である。これまで我々は、低質量原始星の形成過程において、円盤がどの段階でどのように形成されるのかを明らかにするために、原始星近傍のガスの速度構造と化学組成を調べてきた。その結果、複数の原始星天体で、エンベロープガスの速度構造が、回転しながら落下するガス円盤のモデルで再現され、その遠心力バリア (近日点) の位置が決定された。さらに各天体で、ガスの化学組成が、遠心力バリアの前後で劇的に変化することがわかった。今回我々は、遠心力バリアの普遍性と、その化学組成の変化における役割を調べるため、Aquila rift ($d = 200$ pc) にある Class 0 原始星天体 L483 を ALMA Cycle 2 で観測した。

解析の結果、CS ($J=5-4$) 輝線の速度構造が、上記のモデルで説明できることがわかった。傾き角を 50° と仮定して、原始星質量が $0.3 M_\odot$ 、遠心力バリアの半径が 50 AU と見積もられた。さらに CS 輝線では、推定された遠心力バリアの位置より内側に、高速度成分 ($v_{\text{shift}}=2-6$ km/s) が検出された。これは、遠心力バリアのさらに内側に円盤が存在することを示唆する。この高速度成分は、HNC ($12_{0,12}-11_{0,11}$), NH_2CHO ($12_{0,12}-11_{0,11}$), HCOOCH_3 ($20_{5,16,0}-19_{5,15,0}$) などの輝線でも捉えられた。L483 は 1000 AU スケールでは炭素鎖分子に恵まれる warm carbon-chain chemistry (WCCC) の化学的特徴をもつが、原始星近傍の 50 AU スケールで飽和有機分子が捉えられたことは、hot corino 天体としての性質を併せもつことを意味する。このような中間的天体は予想されていたが、実際に検出したのは初めてであり、化学的多様性の原因や進化を探る上で重要な成果といえる。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P120c **Class 0 原始星天体 IRAS 16293–2422 Source B の回転構造の解析**

大屋瑤子, 大西崇介, 森脇可奈, 渡邊祥正, 山本智 (東京大学), 坂井南美 (理化学研究所)

原始星円盤は惑星系の母体であり, その物理的・化学的性質の理解は, 惑星系の起源を探求する上で重要な課題である。この目的のため, 我々は, へびつかい座にある Class 0 の連星系 IRAS 16293–2422 ($d=120$ pc) の片方である Source A について, 原始星近傍の速度構造と化学組成を解析した。その結果, エンベロープガスの速度構造が, 回転しながら落下するガス円盤のモデルで再現され, その遠心力バリア (近日点) の位置が決定された。また, そこでのガスの化学組成の劇的な変化が明らかになった。OCS 輝線はエンベロープを捉えるのに対し, COMs (CH_3OH , HCOOCH_3) はバリアの位置に豊富であることがわかった。一方, H_2CS 輝線は, エンベロープに加えて原始星円盤成分を捉えた。今回, この知見をもとに, 連星の一方である Source B について, ALMA のアーカイブデータ (Band 6) を用いて, 物理構造と化学組成を調べた。

解析の結果, OCS と H_2CS の輝線が広がった分布 (300 AU スケール) をもつのに対し, COMs は原始星方向に集中した分布 (100 AU スケール) をもつことがわかった。この分子による分布の違いは, Source A で見られた傾向とよく似ている。OCS と H_2CS では, 原始星近傍でのガスの回転運動が検出された。この天体の向きはほぼ face-on と考えられているが, この回転構造の解析から, 天体がわずかに傾いていることと, その向きがわかった。一方, 原始星方向では, Source A とは異なり, ガスの落下による Inverse P-Cygni の特徴が見られた。このことから, Source B でも, ガスが回転しながら落下していると考えられる。落下運動がみられるものの, COMs が遠心力バリア付近に豊富であるとすると, その半径は 60 AU 以下と推定される。遠心力バリアの半径を 50 AU, 傾き角を 5° と仮定すると, 遠心力バリアでの速度の勾配から, 原始星質量は $0.2 M_\odot$ 程度と見積もられる。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

P121a **JVLA による原始星 VLA1623 の 0.1 秒角高分解能観測**

西合一矢 (大阪府立大学)、川辺良平 (国立天文台)、島尻芳人 (CEA, Saclay)、徳田一起 (大阪府立大学)、塚越 崇 (茨城大学)、富田賢吾 (大阪大学)、相川祐理、古家健次 (筑波大学)

原始星 VLA1623 は、距離 120pc のへびつかい座 A 分子雲にある強力な双極分子流を放出する典型的な小質量原始星である。我々は、この原始星 VLA1623 をミリ波・センチ波大型干渉計である JVLA を用いて ~ 0.1 秒角という高分解能で観測することで、この天体が原始連星系であることを発見したのでその物理量と合わせて報告する。原始星 VLA1623 は、ガス雲に深く埋もれているために星からの光・近赤外の放射成分をほとんど含まない SED を持つことを特徴とする極めて若い原始星として、Andréら (1993) により”Class 0 天体”として初めて定義された天体として有名であり、過去の干渉計観測から中心領域が東西に約 100AU 離れた VLA1623A と VLA1623B の 2 つのサブミリ波天体で構成されていることが知られている。このうち VLA1623A にのみ原始星ガス円盤が付随していることと、アウトフローの幾何からこちらがアウトフロー放出源であることが示唆されている。我々の JVLA Band Q (41GHz) 連続波観測の結果は、この VLA1623A が見かけ距離 $l = 0.17''$ (~ 20 AU) の原始連星系であり、また VLA1623B が南北に伸びた構造を持つことを示している。過去の ALMA 観測から VLA1623A には $C^{18}O(2-1)$ ガス円盤が付随している事が示されているが、今回の観測でこれは原始星ガス円盤ではなく、連星を取り巻く共連星ガス円盤であることがわかった。さらに、その回転曲線と今回得られた 41GHz 放射強度により、VLA1623A は、ほぼ等質量の原始連星であり、それぞれが $M \simeq 0.1 M_{\odot}$ の星質量を持ち、 $several \times 10^{-3} M_{\odot}$ の原始星円盤を付随していることがわかった。 $C^{18}O(2-1)$ 回転軸とアウトフローの inclination より、連星間実距離は 50-60AU と推定され、円軌道を仮定すれば連星軌道回転周期は 300-400 年と推定される。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P122a **Vertical Structure of the Transition Zone from Infalling Rotating Envelope to Disk in the Class 0 Protostar, IRAS04368+2557**

坂井南美, 樋口あや (理研), 大屋瑤子, 渡邊祥正, 山本智 (東大), Cecilia Ceccarelli, Bertrand Lefloch(IPAG), 花輪知幸 (千葉大), 廣田朋也 (NAOJ), 相川祐理 (筑波大), 酒井剛 (電通大)

Formation of the disk structure is an important issue for star formation studies. In the ALMA Cycle 0 observation toward L1527, we discovered the centrifugal barrier of the infalling-rotating envelope (IRE), and demonstrated a drastic chemical change associated with it. It is generally thought that the disk radius is close to the centrifugal radius (r_{CR}), where the gravitational force is balanced with the centrifugal force. However, this expectation is too simplistic. The envelope gas, at least a fraction of it, keeps infalling to the centrifugal barrier (r_{CB}) in L1527. Such a feature of the transition from the IRE to the disk is totally unexpected, and is one of the breakthroughs brought by the high resolution molecular line observations with ALMA. On the other hand, the radial thickness of the shocked region in front of the centrifugal barrier and the height of the IRE around the centrifugal barrier have not been resolved. With this motivation, we conducted very high-resolution (~ 20 AU) observations with ALMA Cycle 2. The drastic chemical change around r_{CB} is confirmed, and the vertical structure of the IRE is clearly revealed. The IRE shows highly flattened distribution beyond the radius of 160 AU (smaller than r_{CR} of 200 AU), reflecting the almost edge-on configuration, while it is significantly broadened between r_{CB} (100 AU) and 160 AU. A change in the physical structure of the IRE is indeed found in front of the centrifugal barrier, as we reported it by the chemical change.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P123a Synthetic Observations of Early Evolution of Protoplanetary Disks

Chia Hui Lin, Kengo Tomida (Osaka University), Masahiro N. Machida (Kyushu University)

Protoplanetary disks are important as the initial and boundary conditions of planet formation. Also, because protoplanetary disks reflect angular momentum transport in star forming clouds and control accretion onto forming protostars, we need to consistently understand their formation and evolution in the context of star formation. Theoretically, many physical processes such as magnetic fields and self-gravity are involved but their relative significance is yet unclear. Because now we can directly observe young protoplanetary disks with ALMA, direct comparison between theoretical models and high-quality observations is now highly demanded.

For this purpose, we perform synthetic observations based on the MHD simulations of Machida & Hosokawa (2013). We first recalculate the temperature distribution using radiation transfer since the barotropic approximation adopted in the base models cannot reproduce realistic temperature distribution. Then we perform molecular line transfer assuming local thermodynamic equilibrium. These radiation calculations are done using publicly available Monte-Carlo radiation transfer software RADMC-3D (Dullemond 2012). Our models cover the early phase of disk evolution ($M_* < 0.4M_\odot$) and typical molecular lines such as ^{12}CO , ^{13}CO and C^{18}O . Based on these models, we use the ALMA simulator and produce data sets that can be directly compared with observations, such as moment maps and position-velocity diagrams. We find that we can measure the rotation profiles even in the early phase of disk evolution with a high spatial and spectral resolution within a reasonable observation time. Our models are useful for interpreting observations of young protoplanetary disks.

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

P124a TW Hyaの原始惑星系円盤に対するALMAを用いた高分解能多周波観測

塚越崇 (茨城大), 武藤恭之 (工学院大), 野村英子, 石本大貴, 奥住聡, 井田茂 (東工大), 川邊良平 (NAOJ), 金川和弘 (Univ. of Szczecin), C. Walsh (Leiden Univ.), T.J. Millar (Queen's Univ.)

原始惑星系円盤の複雑な構造は、惑星系形成過程に関連すると考えられている。近年では、ALMA 望遠鏡による高分解能観測によって、円盤のサブミリ波放射に複数のギャップ構造が見出されつつある。ギャップ構造の物理的な起源についてはまだ議論段階であり、さらなるデータの蓄積が必要とされているが、とりわけ円盤のダストサイズ分布の情報はキーパラメータの一つとなる。このような背景のもと、TW Hya に付随する原始惑星系円盤に対し、ALMA 長基線配列による高分解能 (~ 3 au) かつ 2 周波 (138, 230 GHz) での観測を行った。

観測の結果、両観測周波数において、複数のギャップ構造を分解することができ、また半径 ~ 3 au 程度の inner hole も空間分解することに成功した。これらは、Andrews et al. (2016) によって見出された構造と同様のものである。2 周波数のデータからスペクトルインデックス α の分布を調べたところ、最も顕著なギャップ ($r \sim 22$ au) において、 α の値が周囲より大きくなっていることが分かった。円盤の光学的厚みとダストオパシティの周波数依存性 β を導出したところ、円盤はおよそ 15 au より外側では光学的に薄かった。また β 分布は、22 au ギャップにおいてピークとなる分布になっており、 $\beta \sim 1.7$ 程度の値だった。この結果は、22 au ギャップ内においてダストサイズが小さくなっている事を示唆しており、圧力勾配によるギャップ端でのダスト堆積メカニズムの描像と一致する。22 au ギャップの形成起源の一つとして惑星を考えた場合、観測されたギャップ形状を理論計算と比較すると、数海王星質量程度の惑星によって作られたギャップと考えることができる。一方、22 au 以外のギャップは、惑星で説明するには浅くかつ幅も狭いため、分子焼結等の別のプロセスを考える必要がある。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P125a **ALMA, JVLA および Chandra による原始褐色矮星候補の同定**

川邊良平, 中村文隆, 鎌崎剛 (NAOJ), 原千穂美 (NEC/東大), 西合一矢 (大阪府立大), 坪井陽子 (中央大), 島尻芳人 (CEA), 松本倫明 (法政大), 高桑 繁久 (鹿児島大), 平野尚美 (ASIAA)

褐色矮星やさらに惑星質量天体 (浮遊惑星) がどのように形成されたかは、未解明の問題であり、初期星質量関数 (IMF) の起源とも密接に関係した重要な問題である。その形成に関しては、通常の星と同様に孤立した分子雲の中で形成されるという説と、星形成時にガス円盤の分裂によりできた高密度分裂片、もしくは褐色矮星自身が重力散乱で放出されたとする説などがある。原始褐色矮星の確かな観測例はほとんどなく、これらの説の切り分けはできていない。我々は、IMF と分子コア質量関数の関連 (特に低質量質側) や、星形成を起こす直前のコアの進化 (特に First Core, FC, 段階) 等を調べる目的で、研究に最適なへびつかい座の3つの領域 (Oph-A, B2, C; $d=120$ pc) の ALMA 観測を進めてきた。ALMA12m Array と ACA を用いて、およそ1秒角の分解能で観測し、1.3mm ダスト放射、CO(J=2-1) の3輝線の解析を進めるとともに、Oph-A 領域では、JVLA での波長7mm の0.2秒角分解能観測、Chandra の最新データ等の解析を行った。その結果、Class-0 原始星 VLA1623 の5000 AU 以内の領域に、形成の極初期にあると思われる2つの原始褐色矮星候補を見出した。2つの天体には以下の共通の性質がある。1) 赤外線ではほとんど未検出、2) 時間変動する X 線が検出されている 3) FC の性質とほぼ一致する超高密度でコンパクトなコアに埋もれている。一つの天体では、低速度の分子流と思われる非常にコンパクトな構造 (およそ240 AU) を見出している。力学的時間は約400年と極めて短い。これからも、形成の極初期の原始褐色矮星 (もしくは惑星との境界領域にある天体) であることが強く示唆される。同様の天体の検出例は報告されておらず、Oph-B2, C の領域でも未検出である。これらの天体の起源についても議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P126a 蛇遣い座領域の X 線放射原始星候補天体の多波長画像解析と物理特性調査

矢吹健, 坪井陽子, 中村優美子 (中央大学), 川辺良平 (国立天文台), 島尻芳人 (CEA/Saclay)

原始星は分子雲の奥深くに埋もれた天体であり、波長により観測できる対象が異なる。そのため原始星に対する多波長解析は重要である。蛇遣い座領域 (距離=120pc) では2000年に X 線による原始星探査が行われた (Imanishi et al 2003)。星の進化段階は Class I, II, III, III 候補に分類され、若い天体ほど星のプラズマの温度 (kT) が高い傾向にあることが報告された。しかし水素柱密度 (N_H) が大きくなると kT の小さいスペクトル成分の検出が難しくなるため観測的なバイアスがかかるが、これを棄却できなかった。今回我々はこの領域について電波 (AzTEC/ASTE), 赤外線 (Spitzer, Herschel), X 線 (Chandra) の多波長の画像を解析した。Class I 天体は分子雲深くに埋もれているため通常 AzTEC 1.1mm での強い放射と赤外線 (24, 70 μ m) での再放射が期待できる。Imanishi et al 2003 で分類された Class I 天体の中にはこのような特徴がない天体が存在したため、画像の確認による再分類を行った。また, c2d サーベイ (Evans et al 2009) を参考に、Class I, Class II 間に Flat Spectrum (FS) という分類を追加した。そして Class I, FS について進化段階に関連するであろうパラメータ N_H, kT を調査した。結果 N_H は両者に違いはみられなかった。一方で kT は精度よく決まらなかった 2 天体を取り除くと Class I の平均が 2.9keV (標準偏差 $\sigma=1.6$), FS の平均が 1.8keV ($\sigma=0.88$) と若いほど kT が大きい傾向が見られた。 N_H が FS と Class I 間で同等かつ kT の進化が見られたことから、kT は進化を表すプローブになりえることを示唆する。またこの領域には電波と X 線で明るく赤外線では暗い天体が確認されており、褐色矮星の形成途中の天体であることが示唆されている。(国立天文台川辺講演) 今回の多波長画像解析でも同様の特徴を示す天体を新たに 3 天体発見した。これは多波長解析により褐色矮星の形成段階の天体の発見が可能であることを示唆する。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

P127a AKARI を用いた YSO candidates の氷吸収の観測・解析

木村智幸, 尾中敬, 左近樹 (東京大学), 下西隆 (東北大学)

本講演では、銀河系内に見つかった2つの young stellar object (YSO) 候補天体についての近赤外から中間赤外の波長域 (2.5-13 μm) で得られたスペクトルについて解析した結果を報告する。この2つの YSO candidates は、AKARI IRC が $8' \times 10'$ の視野を用いて視野内の天体を一度に分光するスリットレス分光能力を生かして、銀経 310° 方向の銀河面の領域を観測した際に、偶然発見された天体である。

両天体のスペクトルには、星周円盤やエンベロープに存在する固体の H_2O , CO_2 , CO , XCN , silicates による吸収や、気体の CO の可能性がある吸収のバンドが見られた。推定される XCN の柱密度が非常に大きいことから、両天体は Class I のダストに深く埋もれた YSO であることが示唆される。しかし、両天体は既知の星形成領域に属してはいない。

典型的な YSO の輻射のピーク波長に比べて両天体のピーク波長が $\sim 4\mu\text{m}$ と非常に短い所にあり、遠赤外での輻射が弱く観測できていないという事実は既存の YSO の SED モデルからは説明できない。二色図上で両天体の Color を見ても、Whitney et al.(2008) 等の提案した YSO の Color モデルから青い方へ大きく外れている。

一方で XCN の feature の存在や、天体が見られる領域に分子雲が見られないことは、観測天体が background star であること、すなわち無関係の分子雲の背景に位置している星でありその分子雲の吸収が単に見えているということ否定する根拠ともなる。これらの議論から、今回の観測天体は、これまでに氷が観測されている天体とはスペクトルの特徴が大きく異なることは明白である。両天体は、今まで観測されたことのない極めて massive な YSO の候補天体である可能性が提案される。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P128a 銀河系外縁部における星生成効率

泉奈都子, 安井千香子 (国立天文台), 小林尚人 (東京大学), 濱野哲史 (京都産業大学), 齋藤正雄 (国立天文台 / 総合研究大学院大学)

銀河系内において、銀河半径 (R_G) が 13.5 kpc 以遠の領域である外縁部は太陽近傍と比較して極めて低いガス密度・金属量を持つことなど、矮小銀河や銀河系の形成初期、特に Thick disk 形成期の環境と似通った環境にあることが知られている (Kobayashi et al. 2008)。我々はこの領域の星生成の系統的な研究を進めており、その一環として優れた感度を持つ広域赤外線衛星 WISE のデータを用いた外縁部の星生成領域探査により、新たに約 700 天体もの若い星生成領域候補を同定した (泉他 2015 年秋季年会 P140a)。これにより外縁部の星生成における統計的な議論が初めて可能となった。

本年会では、その最初のステップとして分子ガスから星が生成される効率を分子雲単位で調べた結果について紹介する。星生成の効率の指標としては、1) 星生成領域を持つ分子雲の存在比率と、2) 分子雲の単位質量あたりにおける付随する星生成領域の赤外線光度を定義し、それらの R_G に対する変化を調べた。 $R_G = 13.5, 20$ kpc の間ではガス密度や金属量が半分以上減少するため、周囲の環境の変化に伴い、星生成効率も変化することが予想されたが、これらの指標の大きな変動は $R_G = 13.5 - 20.0$ kpc の間では検出されなかった。これは、分子雲単位での星生成は、金属量などの環境パラメータで大きく変化しないことを示唆している。銀河系外縁部では原子ガスから星が生成される効率が急激に低下することが知られているが (Kennicutt & Evans, 2012)、以上の結果によりこれは分子雲中の星生成プロセスの変化よりも、分子雲の数自体の減少 (原子ガスから分子ガスが生成される効率の減少) に起因することが示唆される。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P129a 銀河系外縁部における低金属量星生成領域 II. Sh 2-208 の近赤外深撮像

安井千香子, 泉奈都子, 斎藤正雄 (国立天文台), 小林尚人 (東京大学)

われわれは、銀河半径 (R_g) が 15 kpc 以遠の銀河系外縁部における星生成の探査とその観測を進めている。銀河系外縁部は、ガス密度や金属量が極めて低い、銀河の渦状腕の影響がほとんど無いなど、太陽近傍と環境が大きく異なることが知られている。中でも「金属量」が大きく異なることで、星生成において重要な加熱・冷却過程や、惑星形成において重要な惑星の核となるダストの量が大きく変わることが予想され、星・惑星形成への影響を調べる格好の実験場となっている。

今回は、特に低い金属量 ($12 + [\text{O}/\text{H}] < 8$) が見積もられる Sh 2-208 (S208) について、すばる望遠鏡の多天体撮像分光器 MOIRCS を用いた近赤外線 JHK バンドでの深撮像を行った。まず、領域中で同定したメンバーの光度関数をモデルと比較した結果、その年齢が約 0.5 Myr の非常に若い段階にあることが示唆された。次に、星形成の 1 つの指標である原始惑星系円盤を持つ星の割合 (disk fraction) を求めたところ、年齢の割に低い値 (<30%) が得られたが、低金属量下における円盤消失のタイムスケールが太陽近傍と比較して短いというこれまでの我々の示唆と合致する結果が得られた。その一方で、色超過の量が非常に大きな星も確認されたことより、このような環境下であっても、星の初期の進化段階には十分に厚い星周物質に囲まれている状態にあることが示唆された。

この領域には、S208 から非常に近い距離 (約 12 pc) に別の星生成領域 Sh 2-207 (S207) が存在する。S207 の年齢は S208 よりもやや高く (2–3 Myr)、同じ環境下の異なる進化段階にある星形成活動を探る上でのよいターゲットとなっている。広域の中間赤外線画像から、この領域では半径約 30 pc にまで広がる巨大なバブルによりトリガーされた連続的な星形成活動が起こっていることが示唆された。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P130a Vela C 分子雲の磁場構造

楠根貴成、杉谷光司（名古屋市立大学）、中村文隆（国立天文台）、他 SIRPOL チーム

近年の観測技術の発達（主に Herschel 衛星）により、ほぼ全ての分子雲がフィラメント状の構造を持つことが明らかになった。フィラメント中の分子雲コアで星が誕生することから、フィラメント構造の形成過程を明らかにすることは、星形成メカニズム解明へとつながる重要なものである。理論的研究では、フィラメント形成とその構造維持には磁場の存在が不可欠であることが示唆されている。しかしながら、観測的に磁場構造を明らかにした研究の多くは既にフィラメントが卓越した領域であるため、フィラメント形成過程における磁場の影響は必ずしもよく理解されてはいない。そこで我々は、フィラメント構造が卓越した領域から非フィラメント構造の領域までを併せ持つ Vela C 分子雲に着目し、その磁場構造の詳細を調べるべく近赤外線偏光観測を行った。Vela C 分子雲は形状の異なる 5 つのサブ領域から構成される。南アフリカ天文台サザランド観測所 IRSF1.4m 望遠鏡の SIRIUS/SIRPOL（視野 $\sim 7'.7 \times 7'.7$ ）を用いて計 88 視野の観測を行い、Vela C 分子雲のほぼ全域をカバーした。

観測で得られた偏光ベクトルマップにより以下のことがわかった：（１）フィラメントが顕著な領域では、その伸長方向に対して垂直に磁場が走っている。（２）分子雲がやや広がっている領域では、その伸長方向に対して平行に磁場が走っている。（３）大きく広がった網目状構造を持つ領域（South-Nest 領域）では、大きく乱れた磁場構造を持つ。さらに Chandrasekhar-Fermi の手法で各サブ領域の磁場強度を見積った後、乱流強度を各サブ領域で比較した結果、South-Nest 領域の網目状構造は弱い磁場が原因である可能性が高いことがわかった。このサブ領域は外部からの影響（HII 領域や超新星）が他の領域より少ないことから、分子雲の初期段階の磁場構造・磁場強度を保持しているのではないかと推察される。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P131a 衝撃波圧縮により形成されるフィラメント分子雲の構造

岩崎一成 (同志社大学), 犬塚修一郎 (名古屋大学)

近年の Herschel 宇宙望遠鏡による観測によって、ほとんどの重力的に束縛された高密度コアはフィラメント状の分子雲に沿って分布していることが明らかになった。この観測結果は、薄い分子雲から星までの進化過程においてフィラメントが重要な役割を果たしていることを示唆するもので、世界中の注目を集めている。

我々は、フィラメントを作るメカニズムとして衝撃波圧縮に注目している。銀河系内の星間媒質は、超新星爆発や HII 領域の膨張、分子雲同士の衝突などのプロセスによって頻繁に衝撃波圧縮を受けている。本研究では、簡単のために分子雲を正面衝突 (衝突速度方向と磁場は垂直) させて、衝撃波圧縮層でのフィラメント形成過程を 3次元磁気流体シミュレーションを用いて調べた。衝撃波後面において磁場に沿った超音速ガス流が生じ、磁場に沿って潰れたフィラメントが形成される (Inoue & Fukui 2013, 2015 年春季年会 P107a)。フィラメントには、磁場に沿った降着流により衝撃波を介して質量の流入がある。衝撃波圧縮層では磁気圧優勢となるので、この衝撃波は必然的に slow shock となる。したがって、フィラメントは slow shock に挟まれた構造になる。その結果、slow shock 不安定性 (Stone & Edelman 1995) や thin-shell 不安定性 (Vishniac 1994) などの流体力学的な不安定性によりフィラメントは大きく揺らぐ。フィラメントの面密度分布の時間変化を調べた結果面密度分布の幅ははじめ減少するが、あるとき増加に転じることがわかった。それにはフィラメントの揺らぎが重要な役割を果たしていることがわかった。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P132a 磁場に貫かれたフィラメント状分子雲の不安定性

工藤哲洋（長崎大），富阪幸治（国立天文台），花輪知幸（千葉大）

細長いフィラメント構造をした分子雲が多数観測されている．また，分子雲には磁場があり，磁場は分子雲の中で生じる星の形成に影響を与えている．そこで，星形成の基礎過程として，フィラメントの軸に垂直に磁場が貫いている分子雲の不安定性について調べた．春季年会（P121c）で報告したように，(1) 十分な長いフィラメントでは，磁場の強さに関わらずソーセイジ型のゆらぎが成長し，(2) 磁場が弱い場合には，不安定により形成されたコアが暴走的に収縮する．本講演では暴走的収縮が起こる条件と，暴走的収縮により形成されるコアの性質について調べた結果を報告する．

不安定が成長したのち暴走的収縮をするコアが形成されるのは，磁場が弱くフィラメントが超臨界状態にある場合に限られる．超臨界状態でも，ゆらぎの波長が短くコアが磁場を考慮したジーンズ質量より軽い場合は，磁場により支えられたコアとなる．この考えに基づき，磁束あたりのガス質量から理論的に見積もった条件と数値シミュレーションの結果とは数量的に良い一致を示す．磁場が強くと超臨界状態に近づくと，長波長のゆらぎだけが暴走的収縮を起こす．暴走的収縮をする場合，磁場が比較的強い（臨界状態に近い）時にはその影響がコアの速度場や質量や形状に現れる．速度に関しては，フィラメントの軸方向と磁場の方向には収縮しながらも，これらに垂直な方向には膨張する．これは非圧縮なゆらぎによるものと似ている．また，生成したコアの質量は，長波長のゆらぎだけが暴走的収縮を起こすため，磁場の弱い場合よりも重い．さらに，コアの形状は磁場方向にかなりつぶれた扁平状となり，速度場を反映して，フィラメントの軸方向にはやや短く，軸や磁場に垂直方向には少し広がった形状となる．

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P133b 赤外線暗黒星雲“ネッシー”星雲の近赤外線偏光観測

杉谷光司、楠根貴成（名古屋市立大学）、中村文隆（国立天文台）、西山正吾（宮城教育大学）、他 SIRPOL チーム

ネッシー星雲は、フィラメント構造が顕著な赤外線暗黒星雲である。(l, b)~(338.°4, -0.°4) 付近に存在し、銀河面にほぼ平行に伸びている細長い分子雲である。その運動学的な距離は 3.1kpc と見積られており、その長さは約 80 pc (約 1.°5) に及ぶ一連の分子雲で非常に大きなアスペクト比 (150:1) を持つ興味深い天体であることが示唆されている (Jackson et al. 2010)。また、フィラメントには高密度の分子雲コアが存在が HNC(1-0) の観測から示されており、ソーセージ流体不安定性による分裂で大質量星団が形成される可能性が考えられている。さらに、Goodman et al. (2014) は、ネッシー星雲は“たて座-ケンタウルス座”渦状碗内に存在するさらに長く伸びた “bone-like feature” であり、少なくとも 2 倍 (300:1)、最大で 5 倍 (800:1) 程度伸びている構造である可能性を指摘している。

我々は、ネッシー星雲のフィラメント構造と磁場の関係を調べるため、南アフリカ天文台 IRSF1.4m 望遠鏡の SIRIUS/SIRPOL (視野 7 .7 × 7 .7) を用いて Jackson et al. (2010) で示されている約 1.°5 をフィラメントに沿って計 14 視野の近赤外線偏光観測を行った。解析の結果、おおむね良好なデータが得られていることが分かったが、14 視野のうち 2 視野で他の視野に比べてシーイングが著しく悪いことが分かった。このため、今年の 7 月に再観測を予定している。2 視野を除く 12 視野の予備的解析から、フィラメントの伸長方向に対して必ずしも全ての部分で磁場は垂直ではなく、平行になっている部分もあることがわかった。今後、Herschel 宇宙望遠鏡の遠赤外線データなどと詳細に比較するとともに再観測を含めて解析を行う予定である。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P134b S106領域の近赤外広域測光探査観測

大朝由美子, 小田達功 (埼玉大学), 馬場優芽乃 (埼玉大学/富士見市立西中学校)

質量が非常に軽い褐色矮星や惑星質量天体等の超低質量天体は、光度が非常に小さく観測が困難であるため、環境によらず普遍的に形成されるのか、その初期質量関数 (IMF) が一様に増加するかなど明らかでない部分が多い。そこで我々は、太陽近傍 ($\leq 1\text{kpc}$) の多様な環境を持つ星形成領域において、超低質量天体の普遍性や IMF 等を探るべく、若い褐色矮星や惑星質量天体が十分検出可能な探査観測を進めている。

本研究では、大質量星形成領域 S106 を観測対象とした。S106 は、距離 $\sim 600\text{pc}$ にある大質量星 IRS4 による双極分子流および HII 領域を伴い、集団的な星形成が行われている。中心部 (~ 25 平方分) の近赤外測光観測から同定された ClassII 天体の IMF は褐色矮星域に向かって減少せず超低質量天体が多数を占めること、大質量星近傍と周辺部では IMF の傾きが異なることが明らかになった (Oasa et al. 2006)。より正確に温度と質量を求めるために新たに同定された ClassII 天体の一部について多天体近赤外分光観測を行い、導出した有効温度と測光から得られた光度を用いて、HR 図と進化トラックから天体の質量と年齢を求めた。それらの IMF は $\sim 0.1M_{\odot}$ でやや減少し、その後再び超低質量天体域に向かって増加することがわかった (高原ら 2014 年春季年会)。

さらに S106 周囲における超低質量天体の分布を調べることを目的として、UKIRT3.8m 望遠鏡と WFCAM を用いて、広域近赤外測光探査観測 (~ 760 平方分) を行った。JHK3 バンドともに 19 等 (10) を超える限界等級が達成され、赤外超過の見られる ClassII 天体候補が約 500 天体同定された。これらの空間分布から、褐色矮星や T タウリ型星は分子雲密度の高い領域に分布する一方、惑星質量天体は密度によらず一様に分布していること、IMF が場所により異なることが示唆された。講演では、本観測結果を含め、過去の結果と比較した議論を行う。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

P135b 高銀緯分子雲 MBM01,02,03,32 における深い可視分光探査観測

平塚 雄一郎, 大朝 由美子 (埼玉大学)

星形成は銀河円盤付近の高密度分子雲で多く起こると考えられている。一方で、密度の低い銀緯 ± 30 deg に位置する高銀緯分子雲は、星なし分子雲とも呼ばれているが、広領域であり前主系列星の深い探査観測例はほぼない。そこで、我々は高銀緯分子雲中で低質量星や褐色矮星などの形成が起こっているかどうか、そしてどのような特徴を持つかを調べる観測を進めている。また、銀河面の分子雲との星形成の描像に違いがあるのかを調べ、高銀緯での星形成過程の解明の助けとする。

本研究では 2012 年～2015 年までに T タウリ型星の $H\alpha$ 輝線探査を目的としてハワイ大学の 2.2m 望遠鏡と WFGS2(広視野グリズム分光撮像装置) を用いたスリットレス可視分光観測を行った。観測対象は MBM01、MBM02、MBM03 と MBM32 及び参照領域としてペルセウス座分子雲 L1455 の合計 1587 平方分である。可視分光観測の結果、各領域で $H\alpha$ 輝線が検出された T タウリ型星候補天体を複数同定した。さらに、ROSAT、USNO、2MASS、WISE などの多波長測光値を用いて、これらの T タウリ型星候補天体について、赤外超過や X 線検出の有無、距離の推定を行った。また HR 図と進化トラックから質量と年齢の算出を行い、分子雲の電波 CO 強度図と T タウリ型星候補天体の空間分布を求めた。その結果、高銀緯分子雲では質量の軽い星が形成しやすく、分子雲の進化が進んでいる傾向があることが示唆された。

本講演では $H\alpha$ の等価幅や赤外超過、X 線検出の有無、HR 図の結果から、T タウリ型星候補天体が高銀緯分子雲中で形成したのか、その場合の星形成率について議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P136b ブライトリム分子雲の可視光分光探査

細谷謙介, 伊藤洋一 (兵庫県立大学)

ブライトリム分子雲 (BRC) は、隣接する OB 型星からの紫外線放射などの外的要因によって星形成が促される誘発的星形成領域と考えられている。実際に、BRC14 に対しては近赤外波長の探査 (Matsuyanagi et al. 2006) と可視光分光探査 (Ogura et al. 1995) の結果から、BRC14 領域の連鎖的星形成の証拠が示されている。また、UKIRT を用いた近赤外波長の探査 (Hayashi, Itoh, Oasa 2012) によると、BRC に付随する前主系列星の数はその星が付随する BRC の表面のイオン化光子フラックス量と相関があることが分かっている。本研究では赤外超過を示さない前主系列星を探査し BRC の星形成メカニズムを解明するために、BRC を含む星形成領域に対して可視光スリットレス分光観測を行った。

我々はインド Girawali 天文台の IUCAA 2m 望遠鏡を用いて、BRC15-20,21,23-29,45 の計 15 個の BRC について、6563 Å を中心とした狭帯域で分光観測を行った。その結果 186 個の $H\alpha$ 輝線天体を検出した。これらの R バンド等級は 10 ~ 18 等程度で 0.5 太陽質量程度の低質量 YSO と考えられる。

本講演では、検出された $H\alpha$ 輝線を示す星と近赤外超過を示す天体の分布の比較などを報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P137b V409 Tauの可視光分光モニター観測

秋本妃奈子, 伊藤洋一 (兵庫県立大学)

太陽質量程度の質量を持つ恒星は、その形成段階において活発な活動を示すことがある。これまでも活動的な YSO (Young Stella Object) の測光モニタリング観測が行われてきた。本研究では、まだ例の少ない数夜に渡る分光のモニタリング観測を行った。今回ターゲットに選んだのは、おうし座分子雲に付随する V409 Tau である。V409 Tau は、2010 年に起こった数百日間に及ぶ減光イベントの他、4.7 日の比較的短い周期での光度の変動が見られる。また先行研究において、classII の YSO で、スペクトル型は晩期 K 型から早期 M 型であると言われている。

観測には西はりま天文台の 2m 反射望遠鏡「なゆた」に搭載される、可視光中低分散分光器 MALLS (Medium And Low-dispersion Long-slit Spectrograph) を使用した。グレーティングは 1800 1/mm、波長分解能は $R \sim 7500$ 、観測した波長域はおよそ 6330\AA から 6730\AA である。この波長域には、 $H\alpha$ 線や光球由来の吸収線がみられた。 $H\alpha$ 線は逆 P Cygni 型で、輝線と吸収線の等価幅はそれぞれ $0.7\text{\AA} \sim 1.5\text{\AA}$ と $0.4\text{\AA} \sim 2.2\text{\AA}$ である。Li、CaI、FeI などの吸収線の等価幅は 0.5\AA 前後だった。観測期間中に、ターゲット天体はおおよそ 1 等級程度の等級変化があった。

我々は、光度変化の原因として、1. 光球自体の有効温度の変化 2. ベーリングの発現 3. 円盤による減光の 3 種類を考えた。講演ではこれらのモデルをもとに、ターゲット天体の構造について議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P138b 原始惑星系円盤内縁付近から X 線アウトフローが出現する可能性についての理論的考察

高棹真介（名古屋大学），鈴木建（東京大学）

多くの原始星領域・前主系列領域はアウトフローを持つことが電波や可視光観測で知られている。アウトフローは原始惑星系円盤の消失や星・円盤の角運動量損失において重要な役割を担っているため、その根元の位置と駆動機構を理解することは極めて重要である。これまでの観測ではせいぜい温度が 10^4 K のアウトフローしか見つかっていなかったが、Gudel et al. (2008, 2011) は Chandra X 線観測衛星によって Classical T-Tauri star である DG Tau B から 3 MK もの高温 X 線双極アウトフローを発見した。さらにこのアウトフローの根元の X 線源は中心星から離れた位置にあり、少なくとも 6 年に渡って準定常的に存在することもわかった。この温度や根元の X 線源の振る舞いを単純な衝撃波加熱で説明することは難しく、「X 線」円盤風である可能性が高い。この X 線円盤風は optical jet と同じ方向を向き、このような指向性から磁場も加速に重要な役割を担っていると思われる。しかしこのような円盤風を説明する理論は現在存在しない。そこで我々は、Hirose & Turner (2011) などが原始惑星系円盤の 3 次元シミュレーションで指摘した加熱機構に注目して理論モデルの構築を試みた。彼らは磁気浮力不安定性でできた磁気ループが電流シートを生じて加熱を引き起こすことを指摘した。我々はこの素過程を円盤風の加熱機構とし、さらに Kudoh & Shibata (1997) の磁気駆動ジェットの詳細な理論と太陽コロナ加熱理論の視点を取り入れて、X 線円盤風が形成しうるかを考察した。その結果、円盤上空の温度を決めるスケールリング則を導出し、円盤内縁付近から 3 MK 程度の高温ガスを形成しうるという結果を得た。この結果は円盤内縁のガス消失の理解や円盤ガスの電離源である X 線源の理解にとって重要である可能性がある。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P139b 原始惑星系円盤の光蒸発

仲谷峻平, 細川隆史, 吉田直紀

原始惑星系円盤は有限の時間で消失することが観測的に知られる。この時間を円盤の寿命という。円盤寿命は近傍星団の観測から、およそ数百万年であるといわれている (e.g., Haisch et al. 2001)。一方、近年の銀河外縁部星団の観測から、低金属量環境下にある円盤の寿命がおよそ百万年以下と、太陽近傍に比べ短いことが示唆された (e.g., Yasui et al. 2010)。寿命を含めた円盤消失に関する観測事実を、整合的に再現できるものの一つとして光蒸発がある。光蒸発とは、中心星や近傍星からの高エネルギー光子 (遠紫外線; FUV、超紫外線; EUV、X 線) により円盤物質が加熱され、それが円盤系の重力を振り切って円盤上空に流れ出す現象のことを指す。本研究では、金属量を変えて光蒸発のシミュレーションを遂行することで、円盤寿命の金属量依存性を明らかにする。

本研究過程で、磁気流体コード PLUTO4.1 に輻射輸送・ガス加熱/冷却を実装し、輻射流体コードを開発した。本コードで円盤系の熱化学平衡構造を解き、 ρc_s 近似 (e.g., Ercolano et al. 2008) から FUV/EUV による光蒸発率を見積もったところ、低金属量ほど光蒸発率が大きいという結果を得た。ここで得た金属量依存性は、先行研究で熱化学構造に加え円盤系の静力学構造も同時に解いて得られた X 線による光蒸発率の金属量依存性 (Ercolano et al. 2009) と比較して小さい。このことから金属量依存性に関して支配的な要素は X 線であることが示唆されるため、X 線も導入し蒸発率を明らかにすることが必要である。また、流体シミュレーションを実行すると、蒸発流が誘起されることで円盤系の光学的厚さや密度分布が変わり、冷却/加熱率が変わることを予期されるため、動力学的に光蒸発率の金属量依存性を明らかにすることも必要である。よって、今後は X 線の輻射輸送を実装し流体シミュレーションを行うことで本研究を進める。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

P140b 大質量星形成における輻射フィードバックの金属度・降着率依存性

福島肇 (京都大学), 細川隆史 (東京大学), 大向一行 (東北大学)

大質量星は紫外線放射によるガスの電離、超新星爆発による運動エネルギーの注入や重元素放出により星間空間に多大な影響を与える。特に大きな質量のものほどその影響が大きく、宇宙初期の低金属度環境下でどれくらい大質量の星まで形成したかを知ることは銀河形成過程を考察する上で重要である。

星形成において、高密度コアの重力収縮後に形成される原始星はその後の降着により質量を増加させる。どの質量まで降着が続くかにより星の質量が決まる。大質量星形成の際には、原始星質量の増加に伴って輻射も大きくなり、降着流内のダスト粒子が受ける輻射圧や加熱に伴うガス圧によって質量降着が妨げられるようになる。現在の星形成 (金属度 $1Z_{\odot}$, 降着率 $10^{-5} M_{\odot} \text{yr}^{-1}$) において球対称定常降着を仮定した場合、星の質量が $15M_{\odot}$ 程度で質量降着ができなくなることが知られている (Wolfire, M. & Cassinelli, J. P. et al. 1987)。現実的な非球対称、非定常降着を考えた場合にはこれよりも何倍か大きくなりえることが知られているが (Krumholz, M. et al. 2009) 輻射フィードバックが重要になる質量のおおよその目安を与えるものと考えられる。宇宙初期における星形成領域では金属度が現在の銀河系内よりも低い、その場合には原始星の光度およびガス降着率、降着流内のダスト粒子の数密度といった輻射フィードバックの強さに影響するパラメータが変化する (Hosokawa, T. & Omukai, K. 2009)。そこで今回、定常・球対称の仮定のもと、大質量星への降着流解を求め、原始星からの輻射フィードバックによりガスが降着できなくなる質量を様々なガスの金属度と降着率に対して調べる。その結果をもとに初代銀河の初期進化に対する影響を議論する。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

P141b 初代星の降着成長は星の自転によって妨げられるか？

高橋実道, 大向一行 (東北大学)

星形成の過程で原始星に降着するガスは一般に角運動量を持っており、原始星は高速で回転していると考えられている。このとき、原始星が構造を維持するためには、星表面で輻射による力と遠心力より重力が大きい必要がある。これを $\Omega\Gamma$ limit という。回転速度が十分大きく遠心力と輻射圧の和が重力と釣り合うような原始星はそれ以上高速で回転することはできず、角運動量を持ったガスが降着できなくなる。高い降着率を実現するためには、降着円盤中でガスの角運動量を効率よく輸送し原始星に角運動量を持ち込まないことが必要となる。

Lee and Yoon 2016 では、初代星形成の際に $\Omega\Gamma$ limit により原始星への高い降着率を実現せず、初代星の質量が $20 - 40M_{\odot}$ に抑制されると主張している。この主張は、ポルトロープガスが角運動量を持ち込まずに中心星に降着するような定常降着円盤の解が中心星の角速度がケプラー回転速度の 90% を超える場合にのみ存在するという先行研究 (Popham and Narayan 1991) の結果に基づいている。しかし、Popham and Narayan 1991 では中心星からの輻射が降着円盤に与える影響は考慮されていない。実際には中心星からの輻射が降着円盤の構造を変化させるため、中心星の回転速度がより小さい場合でも角運動量を持ち込まずにガスが降着できる解が存在し、初代星形成期に高い降着率を維持する可能性がある。

本研究では、中心星からの輻射による円盤の加熱を考慮して初代星周囲の降着円盤の定常解を構築し、中心星へ角運動量を持ち込まない定常降着円盤の解を調べる。また、この結果から $\Omega\Gamma$ limit を考慮した際の初代星質量の制限について議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P142a 降着エンベロープからケプラー円盤への遷移

花輪知幸 (千葉大学), 坂井南美 (理科学研究所), 大屋瑤子, 山本智 (東京大学)

IRAS 04368+2557 や HL Tau などの若い原始星の周囲には Infalling envelope と呼ばれる回転しながら落下する降着流が見られる。この降着流は遠心力により減速され、いずれ回転平衡にあるケプラー円盤と同化すると考えられる。Sakai et al. (2014, Nature, 507, 78) は IRAS 04368+2557 ではこの遷移が動的で、降着流が遠心力と重力が釣り合う半径 r_c を通り過ぎ、その約半分の半径にまで到達していることや、その付近で化学組成が大きく変化することを見出した。同様の現象は他の幾つかの天体で見ついている。このことを念頭に置き、動径方向の流れだけを考えた 1 次元モデルと、軸対称性だけを考慮した 2 次元流体力学シミュレーションにより動的降着流れから回転平衡円盤への遷移について考察した。

(1) 1 次元モデル: 圧力を無視した弾道近似を用いると、遠方から落下してきたガスは $r = r_c/2$ に位置する遠心力障壁に到達する。しかしこのガスは遠心力により膨張し、続いて落下するガスが遠心力障壁に到達するのを妨げる。両者の力学的釣り合いを考慮すると、両者の境界を推定することができる。降着するガスの比角運動量が時間変化しない場合、境界は $r = r_c$ よりわずかにしか内側に入らない。

(2) 2 次元モデル: 回転平衡にある円盤が幾何学的に薄く、降着流が鉛直方向に広がっている場合、ガスは円盤に妨げられることなく遠心力障壁の近くまで入ることができる。降着流が円盤に比べて鉛直方向に広がっている場合、ガスは鉛直方向に漏斗型をした遠心力障壁に沿って落下し、円盤と衝突する。逆に降着流が回転面に集中している場合、ガスは円盤表面に沿って流れ、遠心力障壁の近くから外向きに膨張し始める。分子輝線の観測から予想される流れは後者に近い。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P143a アウトフローと回転円盤の整列・不整列

松本倫明 (法政大学), 町田正博 (九州大学), 犬塚修一郎 (名古屋大学)

最近の高空間分解能の観測によって、従来考えられてきた描像よりも複雑な星形成の様相が明らかになってきた。たとえば、クラス I 天体 IRS 43 はエッジオンの回転円盤を持つが、ポールオンのアウトフローを持つことが観測によって示唆されている。すなわち、回転円盤とアウトフローの方向がそろっていない。同じくクラス I 天体である L1489 IRS は回転円盤と平たい降着エンベロープが観測されているが、それらの向きはそろっていない。このような、回転円盤がアウトフローやエンベロープと整列していない天体が報告されているが、整列しない原因については明らかになっていない。

そこで本研究では磁場を乱流を持つ分子雲コアから原始星が形成する様子を、適合格子細分化 (AMR) 法を用いた高空間分解のシミュレーションで再現した。このモデルでは回転の起源は乱流である。そのため回転軸と磁場の軸があらかじめ整列している・整列していないなどの人為的な仮定を排除している。

複数のモデルを計算した結果、回転円盤の向きがアウトフローに整列するモデルと整列しないモデルが認められた。回転円盤とアウトフローが整列するモデルでは、アウトフローは磁気遠心力風によって駆動され、従来の軸対称な初期条件のもとに計算した結果と整合する。

一方、回転円盤とアウトフローが整列しないモデルの様相は異なる。100–1000 au スケールでは、磁場・アウトフロー・エンベロープは整列するが、10 au スケールでは回転円盤の向きは磁場・アウトフロー・エンベロープの向きと揃わない。アウトフローの加速機構は軸対称の磁気遠心力風とは異なり、Matsumoto & Hanawa (2011) で報告された spiral flow に似た様相を呈する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P144a 大質量降着率における原始星からの磁気アウトフローの駆動条件

松下祐子、町田正博 (九州大学)

アウトフローは、星形成過程で普遍的に駆動すると考えられており、星形成効率の決定や角運動量の輸送に対して重要な役割を果たしている。低質量星では、アウトフローによる降着ガスの掃き集めや、星間空間への放出によって、星形成効率を決定づけている (Machida & Hosokawa 2013)。観測から、大質量星形成においてもアウトフローが駆動していることが分かっているため、星形成効率の決定に影響を与える可能性がある。しかし、すべての大質量原始星からアウトフローが駆動しているのかは分からない。前回の講演で大質量原始星からのアウトフローを3次元磁気流体力学 (MHD) シミュレーションを用いて計算し、結果を解析したところ、アウトフローが一時的に駆動したが、その後駆動が抑制されるモデルが存在した。今回の研究では、大質量降着率をもった環境下で、初期の分子雲の磁場強度を変化させてMHDシミュレーションを行い、その結果を用いて、アウトフローの駆動条件を降着率の大きさと磁場強度の観点から論じる。

また、星形成過程において、角運動量問題が存在するが、低質量原始星では、初期に分子雲コアが持つ角運動量の99.9%がジェットやアウトフローにより輸送されることが分かっている。今回の研究で、大質量原始星形成の場合も低質量原始星同様に、過剰な角運動量が主にアウトフローによって輸送されていることが分かった。磁場の効果による効率的な角運動量輸送により、大質量原始星の周囲に存在する円盤の分裂を抑制できる。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P145a **1: A Fast Accurate Numerical Scheme for Radiation Hydrodynamics:
Formation of Low Mass Protostars**

Torsten Stamer, Shu-Ichiro Inutsuka (Nagoya University)

Numerical solutions of the radiation hydrodynamics equations are of great importance in astrophysics. While for extremely optically thin or thick media, approximations such as Newtonian cooling or radiative diffusion can be used, the optically intermediate case remains especially challenging. In this talk, I will present a new method for radiative transfer calculation in spherically symmetric systems. The method is highly accurate in all regimes of optical thickness. Furthermore, we applied our method to the simulation of protostellar collapse. In this scenario, a gravitationally unstable, high-density molecular cloud core collapses under its own gravity, ultimately forming a protostar. This is a case where the optical thickness changes drastically during the course of the simulation. We are especially interested in the formation scenario of Brown Dwarfs. Given their low mass, the molecular cloud cores that ultimately form Brown Dwarfs must have extremely high densities (on the order of $\frac{10^8}{\text{cm}^3}$) in order to be Jeans-unstable. Such high-density clouds cannot be observed since there is no tracer molecule with a critical density around this value. This lack of observations makes numerical simulations especially valuable. I will discuss the properties of the objects created in our simulation, and the necessary conditions for their formation.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P146a 流体力学シミュレーションにおける高速自己重力計算手法の提案

平井遼介（早稲田大学），長倉洋樹（カリフォルニア工科大学），大川博督，藤澤幸太郎（早稲田大学）

流体数値シミュレーションは、近年の宇宙物理学の数多くの分野で欠かせない研究手法となっている。流体力学の基礎方程式に加え、輻射輸送、ニュートリノ輸送、自己重力など他の基礎方程式と連立して解く場合が多い。特に自己重力は星形成をはじめ、様々な天文現象において重要であることが知られている。流体数値シミュレーションに自己重力を取り入れる場合、（ニュートニアン重力を扱う場合）ポアソン方程式を解く必要がある。ポアソン方程式は楕円型の偏微分方程式であり、流体の基礎方程式のような双曲型偏微分方程式と比べ数値計算コストが高いことが知られている。そのため、計算時間の大半を自己重力に費やしているケースも少なくない。本研究では、自己重力の数値コストを削減する新たな手法を提案する。具体的にはポアソン方程式を波動方程式に書き換え、近似的に解を得る。これをいくつかの問題に適用し、本手法と従来手法の計算時間を比較した結果、劇的に計算時間が短縮されることがわかった。また、誤差も境界条件の設定やパラメータに依存するものの、無視できる程度に軽減されることがわかった。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P147a 宇宙の進化と星形成過程の変遷

樋口公紀, 町田正博 (九州大学), 須佐元 (甲南大学)

星間空間には磁場が存在していることがよく知られている。そのため、現在の星形成を考える上で、磁場の影響を無視することはできない。星形成過程で、磁場がガスの熱進化に影響を与えるかどうかは、ガス雲の初期の磁場強度と収縮するガス雲中での磁場の増幅率に依存する。したがって、星形成過程において磁場がどの程度の強度まで増幅し、ガス雲の収縮過程に影響を与えるかどうかを評価することは重要である。この評価を行うためには、収縮するガス雲中で、磁場の散逸過程 (オーム散逸・両極性拡散) を考慮する必要がある。磁場の散逸度合は、分子雲コアの金属量やイオン化度によって大きく異なる。さらに、星形成環境 (宇宙線強度、放射壊変核子の存在量の違い) はガス雲の金属量やイオン化度を变化させる要因となる。

本研究では、4つの異なる星形成環境 (1. 宇宙初期のような電離源の存在しない環境、2. 銀河系の環境、3. 銀河系の1/100の環境、4. スターバースト銀河のような環境) を想定した。さらに、金属量 (Z/Z_{\odot}) をパラメータとして、 $Z/Z_{\odot} = 0$ の原始ガスから $Z/Z_{\odot} = 1$ の太陽と同程度の金属を持つガスまで考慮した。ガス雲から原始星形成までの、磁場の散逸を考慮した3次元非理想磁気流体力学 (MHD) シミュレーションを行い、ガス雲の収縮及び、星形成過程を調べた。計算の結果、ガス雲の熱進化と金属量に応じて、同じ環境下でさえ、磁場の増幅率に大きな違いが見られた。本講演では、星形成環境とガスの金属量の違い、また、磁場の散逸度合と磁場の効果が異なる環境で星形成に与える影響について述べる。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

P148a 宇宙論的環境下における超大質量星形成シミュレーション

鄭昇明, 細川隆史, 吉田直紀 (東京大学)

宇宙初期における星形成活動は数値計算によって明らかになりつつある。始原的環境下で形成される星は、近傍の星に比べて典型的に大きな質量 ($\sim 100 M_{\odot}$) を持つと考えられている。中でも、近傍銀河からの強い輻射を受けた始原的ガス雲では $\sim 10^5 M_{\odot}$ の質量を持つ超大質量星 (SMS) が形成される可能性がある。この星は死後、同程度の質量を持つ BH を残し、遠方宇宙 ($z \sim 7$) で観測されている SMBH ($10^9 M_{\odot}$) に成長することが期待されている (Direct Collapse シナリオ)。SMS を形成するのに必要な輻射強度は宇宙における平均値に比べて $100 \sim 1000$ ほど大きいので、極めて稀な環境化でしか形成されない。我々はこれまで宇宙論的に SMS を形成しうるガス雲を探索し、高密度コア ($\sim 10^8 \text{ cm}^{-3}$) が形成されるまでの計算を行った。その後 $10^5 M_{\odot}$ の質量を持つ SMS が形成されるか否かを議論するために、本講演ではその後のコアへの質量降着を 3 次元的に計算する。

ガス雲の崩壊はまず近傍銀河からの潮汐力を受けて、フィラメント状に進行する。最終的に、原始星を中心とする円盤状の構造を形成する。数千年間の進化を計算した結果、中心星への降着率は $0.1 \sim 1 \text{ yr}^{-1} M_{\odot}$ を維持している。このような大降着率下では星は巨星化し輻射の有効温度が下がることで輻射フィードバックは効かなくなり、星は大降着率を保ったまま成長する。また、重力不安定による円盤分裂もいくつか観測された。多くの場合分裂片は KH 時間内に中心星と合体するか大降着率を保ったまま進化することで、輻射フィードバックは働かない。一方で、分裂片同士の相互作用による ejection も見られた。eject された分裂片は降着率が下がるため輻射フィードバックが働き、中心星の成長に影響する恐れがある。本講演では 1 万年間の質量降着過程を計算することで、分裂片の進化、輻射フィードバックが中心星の最終質量にどのように影響するかを議論する。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

P149a 金属欠乏星は形成時から金属を持っていたか

千秋元, 須佐元 (甲南大学)

近年の銀河系ハローの観測から、長寿命（宇宙年齢程度）かつ極めて金属量の小さい ($[Fe/H] < -3$) 星が発見されているが、これらの星の形成過程は未だに解明されていない。長寿命であることは小質量 (< 0.8 太陽質量) ということの意味しているが、ガス雲の重力収縮過程において放射冷却が不十分である場合、ガスは安定となり分裂が抑制され、単一の原始星が形成される傾向にある。低金属量かつ小質量の星が形成されるメカニズムはこれまでいくつか考えられており、本研究では小質量の初代星が星間ガス中で汚染される過程に着目した。最新のシミュレーションによると、原始星の降着過程において降着円盤が重力不安定となって分裂し、小質量の初代星が形成されるという報告がある。この場合、準解析的なハローの合体成長モデルを用いると、現在観測されている低金属量星の大部分が初代星由来であると予言されている (Komiya et al.)。このモデルによると、初代星団の主星が超新星爆発によってハローに金属が拡散され、伴星が汚染されるという自己汚染が効率的となる。

しかし、超新星衝撃波の伝播に伴う金属の拡散および汚染の過程は、ガスの密度/速度分布に大きく依存するため、3次元的な流体シミュレーションによって汚染過程を詳細に追う必要がある。特に、主星が主系列期にあるとき、紫外線輻射によって H II 領域が形成され、超新星爆発直前のガスの密度/速度構造が決定される。本研究ではまず、流体コード GADGET-3 に Susa (2006) による輻射輸送スキームを実装し、電離を含む化学反応と整合的に H II 領域の時間発展を解く。次に、形成された H II 領域での超新星衝撃波の伝播と金属拡散の過程を追う。年会では、その結果得られる伴星の金属量と金属欠乏星の観測結果との比較について報告する。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

P150a 超大質量星が重力崩壊する際に起きる核融合反応の効果について

打田晴輝, 柴田大 (京都大学基礎物理学研究所)

赤方偏移 $z \geq 6$ の初期宇宙には約 10^9 太陽質量の超巨大 BH が存在することが分かっている (e.g. Mortlock et al. 2011)。しかし、このような巨大な BH がどのようにして形成されたのかは分かっておらず、現在の宇宙物理学の大きな問題の一つになっている。この問題を解決できるシナリオとして、 10^5 太陽質量程度の超大質量星 (Super Massive Star; SMS) が宇宙初期に形成され、重力崩壊して同程度の質量を持った BH が形成され、ガス降着により超巨大 BH へ成長するというシナリオが考えられている。このシナリオを検証するには SMS が宇宙初期に存在したことを確認できれば良いが、非常に遠方の初期宇宙に存在するために直接観測には成功していない。そこで我々は SMS の重力崩壊に着目し、重力崩壊に伴い観測できる電磁波や重力波が放出される可能性について調べている。我々の過去の研究により、SMS は回転していると強く安定化され、質量が 2×10^5 太陽質量より小さい SMS は重力崩壊を開始する前に水素燃焼が終わり、組成の大部分がヘリウムになりうるということが分かっている (Shibata et al. 2016)。核融合反応は元素が重いほど強い温度依存性を持つため、このような SMS は重力崩壊時に爆発的に核融合反応が起き、大量の電磁波が放出されて観測できる可能性がある。また、我々が過去に簡単なモデルで SMS を近似し重力崩壊を計算した所、BH の形成に伴い強い重力波が放出され、観測できる可能性があることが分かっている (Shibata et al. in prep)。そこで現在はより現実的な SMS のモデルを置いて重力崩壊を数値相対論シミュレーションし、核融合の効果などについて調べている。本発表では研究の進捗を報告するとともに、シミュレーションの結果から得られる超大質量星の観測可能性について議論する。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

【P2. 星・惑星形成】

9月15日(木) 午後(13:30-15:42) [B会場]

P201a	13:30	DG Tau に付随する原始惑星系円盤のミリ波ダスト連続波高解像度観測	百瀬宗武 (茨城大学)
P202a	13:42	Near-Infrared Imaging Polarimetry of Inner Region of GG Tau A Disk	Yi Yang (The Graduate University for Advanced Studies(SOKENDAI))
P203a	13:54	赤外線天文衛星「あかり」で検出したデブリ円盤のすばる望遠鏡/COMICS による分光追観測	渡邊華 (名古屋大学)
P204a	14:06	質量降着を利用した非常に若い惑星の直接撮像探査	鷗山太智 (東京大学)
P205a	14:18	アストロメトリ法と直接撮像法の二重検出による惑星質量決定	山口正輝 (東京大学)
P206a	14:30	すばる望遠鏡/HDS を用いたヨードセル法での視線速度測定精度の検証	長谷川椋 (東京工業大学)
P207a	14:42	すばる IRD による M 型矮星周りの地球型惑星探索 III: 事前観測	大宮正士 (国立天文台)
P208a	14:54	岡山 188cm 望遠鏡/MuSCAT によるハビタブル惑星候補 K2-3d のトランジット観測	福井暁彦 (国立天文台)
P209a	15:06	K2-ESRPINT プロジェクトによるトランジット系外惑星探査: 特徴的な惑星系の報告と将来展望	平野照幸 (東京工業大学)
P210a	15:18	ケプラー測光データを用いた長周期惑星のリング探査 II	逢澤正嵩 (東京大学)
P211b	15:30	ALMA 望遠鏡を用いたデブリ円盤の CO 観測	樋口あや (理化学研究所)
P212b	15:30	プレアデス星団メンバー星 HII 3441 に付随する褐色矮星質量伴星の発見	小西美穂子 (国立天文台)
P213b	15:30	Habitability around Magnetically Active and Low Mass Stars	大石碧 (防衛大学校)
P214c		ガイアンボトルネックを考慮した原始的生命を保持する惑星数評価	釜谷秀幸 (防衛大学校)
P215c		K2 Exoplanets and Follow-up with Spitzer and Ground-based Telescopes	John Livingston (University of Tokyo)

9月16日(金) 午前(09:30-11:30) [B会場]

P216a	09:30	Water deuteration as a probe of the origin of H ₂ O in protoplanetary disks	古家健次 (筑波大学)
P217a	09:42	磁場駆動円盤風を考慮した原始惑星系円盤の進化	鈴木建 (東京大学)
P218a	09:54	中心星の照射を受ける原始惑星系円盤における重力乱流	廣瀬重信 (国立研究開発法人海洋研究開発機構)
P219a	10:06	原始惑星系円盤でのガスとダストの相互作用による不安定性の3次元数値シミュレーション	大西勇武 (九州大学)
P220a	10:18	永年重力不安定性の非線形発展 1: 高精度数値計算法の開発	富永遼佑 (名古屋大学)
P221a	10:30	原始惑星系円盤のギャップ構造と惑星質量の関係: 観測への応用	金川和弘 (シュチェェン大学)
P222a	10:42	原始惑星系円盤の理論モデルの観測予想と円盤年齢の見積もり	村川幸史 (大阪産業大学)
P223a	10:54	GG Tau に付随する周連星円盤におけるダストの性質	田崎亮 (京都大学)
P224b	11:06	非定常電離度進化を考慮した原始惑星系円盤のグローバルシミュレーション	藤井悠里 (ニールス・ボーア研究所)
P225c		原始惑星系円盤における宇宙線陽子の伝播	藤井悠里 (ニールス・ボーア研究所)
P226b	11:06	ロスビー波不安定性による密度バンブ構造の非線形進化	小野智弘 (京都大学)
P227b	11:06	原始惑星系円盤中における惑星大気への円盤ガスの流入と大気流出	黒川宏之 (東京工業大学)

(次頁に続く)

【P2. 星・惑星形成】

P228c		1次元放射流体計算による集積期原始巨大ガス惑星からの水素輝線強度の推定輝線吸収の影響 青山雄彦（東京大学）
P229b	11:18	磁気流体波動の散逸による巨大ガス惑星の大気構造および質量放出率の時間変動性 田中佑希（国立天文台）
P230b	11:18	高速回転する系外惑星の構造とその進化 藤澤幸太郎（早稲田大学）
P231b	11:18	SMILES-2 衛星を想定した太陽系地球型惑星のサブミリ/THz 帯放射輸送シミュレーション 西田侑治（大阪府立大学）
9月16日（金）午後（13:30-14:54）[B会場]		
P232a	13:30	微惑星形成過程解明のための乱流の大規模直接数値計算と粒子追跡 小林直樹（名古屋大学）
P233a	13:42	乱流の直接数値計算を用いた原始惑星系円盤ダストの衝突付着成長シミュレーション 濱端航平（名古屋大学）
P234a	13:54	微惑星衝突破壊・合体の高解像度数値シミュレーションに向けて:FDPS を用いた弾性体ゴドノフ SPH 法の高速度化 杉浦圭祐（名古屋大学）
P235a	14:06	円盤風によって進化するガス円盤中での固体惑星集積 萩原正博（国立天文台）
P236a	14:18	衝突成長に伴う 惑星・衛星の組成進化 小林浩（名古屋大学）
P237a	14:30	系外惑星の大気透過スペクトルの多様性の解明：ヘイズ粒子の生成・成長・沈降の効果 川島由依（東京大学）
P238a	14:42	ハビタブルゾーンに存在する海惑星の表層環境：高圧氷と炭素循環 中山陽史（東京大学）

P201a **DG Tau に付随する原始惑星系円盤のミリ波ダスト連続波高解像度観測**

百瀬宗武, 塚越崇, スンカンロウ (茨城大), 樋口あや (理研), 武藤恭之 (工学院大), 奥住聡 (東工大), 深川美里 (名大), 田中秀和 (東北大)

DG Tau に付随する原始惑星系円盤に対し, 波長 1.3mm ダスト連続波を ALMA 長基線配列により観測した結果を報告する。DG Tau は牡牛座領域中に存在する古典的 T タウリ型星である。この天体には $\sim 10^3$ au のエンベロープや電離ガス起源の光学ジェットが付随しており, 中心星への質量降着率は $10^{-6} M_{\odot} \text{ yr}^{-1}$ を上回るほど激しい。これらの特徴は, ALMA 長基線キャンペーンで円盤が撮像された HL Tau と共通しており, DG Tau が原始星から進化して間もない T タウリ型星であることを示している。HL Tau で見出された円盤のリング構造の形成起源や普遍性を探る上でも, 興味深い比較対象といえる。今回は ALMA Cycle 3 の長基線配列を用いた観測により, バンド合成後の有効波長 1.3mm において 40×32 mas (FWHM) のビーム (5.6×4.5 au に相当) でダスト連続波画像を得た。その結果明らかになった輝度分布は, 全体的には極めて軸対称で, かつ動径方向に概ね滑らかだった。半径 $r = 12.5$ au より内側では $r^{-0.55}$ に, $12.5 \text{ au} \leq r \leq 50 \text{ au}$ の範囲では $r^{-1.22}$ に, それぞれ輝度分布が比例する一方で, 半径 50 au 以遠では急激に輝度が低下していた。過去になされた観測結果も踏まえると, 得られた輝度分布は, $r \leq 12.5 \text{ au}$ では円盤が光学的に厚く温度分布を反映しているのに対し, それ以遠は降着円盤の古典的相似解で示されるような面密度分布を持つと考えることで, よく説明される。ただし $12.5 \text{ au} \leq r \leq 50 \text{ au}$ の範囲に, べき状分布から約 7%, 輝度が凹んでいるギャップが複数確認された。その起源の最終的な解明には複数周波数での撮像に基づく精密な物理量の決定が必要だが, 現時点の候補としては, HL Tau 円盤に対して議論されたのと同様の機構 (焼結によるダスト滞留, 永年重力不安定性など) が挙げられる。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P202a **Near-Infrared Imaging Polarimetry of Inner Region of GG Tau A Disk**

Yi Yang, Jun Hashimoto (Astrobiology Center), Saeko Hayashi (Subaru Telescope), Motohide Tamura (University of Tokyo), Satoshi Mayama (SOKENDAI), Roman Rafikov (Institute for Advanced Study), HiCIAO/AO188/SEEDS team

By performing non-masked polarization imaging with Subaru/HiCIAO, polarized scattered light from the inner region of the disk around the GG Tau A system was successfully detected in the H band with a spatial resolution of approximately $0.07''$, revealing the complicated inner disk structures around this young binary. This paper reports an arc-like structure to the north of GG Tau Ab, part of a circumstellar structure that could be detected around GG Tau Aa extending to a distance of about 28 AU from the primary star. The speckle noise around GG Tau Ab constrains its disk radius to be smaller than 13 AU. Based on the size of the circumbinary ring and the circumstellar disk around GG Tau Aa, the semi-major axis of the binary's orbit is likely to be 62 AU. A comparison of the present observations with previous ALMA and near-infrared H_2 emission observations suggests that the north arc could be part of a large streamer flowing from the circumbinary ring to sustain the circumstellar disks. According to previous research, the circumstellar disk around GG Tau Aa has enough mass and can be sustained for a duration sufficient for planet formation; thus, our study indicates that planets can form within close (separation $< \sim 100$ AU) young binary systems.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P203a 赤外線天文衛星「あかり」で検出したデブリ円盤のすばる望遠鏡/COMICS
による分光追観測

渡邊華、石原大助、小林浩、金田英宏、深川美里 (名古屋大学)、藤原英明 (NAOJ)、樋口あや (理研)、尾中敬 (東京大学)、山下卓也 (国立天文台)、永山貴宏 (鹿児島大学)

デブリ円盤とは、主系列星に見られる、光学的に薄いダスト円盤である。円盤のダストは、惑星の源となる小天体の衝突により供給されると考えられているため、デブリ円盤は惑星形成・進化過程の重要な観測的証拠である。我々はこれまでに、赤外線天文衛星「あかり」による探査により 53 天体のデブリ円盤を検出した。その中に、「あかり」の波長 9、18 μm 帯と WISE の 12、22 μm 帯の円盤のフラックスが、黒体放射のスペクトルでは説明できない天体が見つかった。その原因として、「あかり」と WISE の観測時期でのダスト量の変化、もしくは、赤外域でスペクトルフィーチャーを示す数 μm サイズの小さなダストの存在が考えられる。原因を明らかにするため、すばる望遠鏡 COMICS を用いて波長 8–13 μm での分光追観測を行っている。

その結果、観測が終了した 10 天体中 4 天体から、顕著なスペクトルフィーチャーを検出した。これらをダストの光学特性を考慮したモデルでフィッティングした結果、HD 65372 には最小サイズが 0.5 μm の非結晶オリピンの存在が示唆された。他の 3 天体についても ~ 数 μm サイズの小さいダストや、多環芳香族炭化水素 (PAH) の存在が示唆された。これら小さなダストは、ガスの無い系では輻射圧により数年で散逸してしまう。それでも小さなダストがデブリ円盤に見られる理由として、惑星形成中に起こる原始惑星同士の衝突 (巨大衝突) による一時的なダスト供給、原始惑星系円盤から生き残ったガスによるダスト散逸の阻害が有力である。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P204a 質量降着を利用した非常に若い惑星の直接撮像探査

鵜山太智, 橋本淳 (アストロバイオロジーセンター), 谷川享行 (産業医科大学), 田村元秀 (東京大学), 石塚将斗 (東京大学), Timothy D. Brandt (Institute for Advanced Study)

形成中の惑星に質量が降着する際、 $H\alpha$ や $Pa\beta$ と言った水素スペクトルが発せられる。質量降着由来の輝線光度は黒体放射よりもはるかに明るいため、同じ天体でも広いバンド幅でなく、輝線の見える狭いバンド幅のみで惑星探査を行う方が、必要なコントラストが小さく検出可能性が高まる。我々はこの点に着目し、検出可能な惑星の質量を計算したところ、年齢が1000万年以下の Young Stellar Object (YSO) において、1-2木星質量の天体も検出可能であることがわかった。これは、従来の広帯域フィルターを用いた直接撮像による検出性能(数木星質量以上)よりも小さな値である。SCEXAOを始めとする超補償光学装置による検出限界の改善が期待されるが、YSOは超補償光学が適用できない暗い天体が多く、YSOにおいては質量降着を狙った惑星探査を行う事が有用となる。Keck望遠鏡に搭載されたOSIRISは、補償光学を用いた比較的波長分解能の高い($R\sim 3800$)赤外線面分光装置であり、Spectral Differential Imaging (SDI) モードを用いて、輝線検出に対して効率的な高空間分解能分光観測を行う事が可能である。この観測装置を用いて我々はTW HyaとSAO 206462を、 $Pa\beta$ ($1.28\ \mu\text{m}$)を含む波長域 $1.228\text{-}1.289\ \mu\text{m}$ で観測した。これらの天体は、空隙を伴う原始惑星系円盤を持つことから、惑星形成が示唆される天体 (transitional disk objects) である。本講演では、そのデータの解析と結果について報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P205a アストロメトリ法と直接撮像法の二重検出による惑星質量決定

山口正輝 (東京大学), 松尾太郎 (大阪大学)

位置天文観測衛星 Gaia による観測が開始し、アストロメトリ法による惑星検出が近い将来現実のものとなる。計画通りの精度が達成されれば、2万個もの惑星が新たに見つかる予想されている (Perryman et al. 2014)。Gaia によって発見される系外惑星の中には、軌道周期が長いために直接撮像でも検出可能な惑星も含まれると考えられる。したがって、どのような惑星が Gaia 位置天文観測とその後の直接撮像の両方で検出可能かを検討することは重要である。本研究では、解析的な計算により Gaia で発見できる惑星パラメータ領域を制限した上で、VLT/SPHERE または TMT/PFI の直接撮像でも発見できる惑星パラメータ領域を明らかにした。さらに、こうしてアストロメトリ法と直接撮像法の二重検出に成功した場合、惑星質量にどの程度の制限を与えられるかを検討した。

結果として、地球から 10pc 離れた赤色矮星を中心星とした場合、VLT/SPHERE の検出可能領域は Gaia 検出可能領域 (軌道周期 5 年以上) のほとんどをカバーできることが分かった。また、地球から最も近い星形成領域にある星を中心星とした場合、TMT/PFI の検出可能領域が Gaia 検出可能領域 (軌道周期 5 年以上) をすべてカバーできることが分かった。こうして、Gaia 位置天文観測で発見した長周期の惑星を VLT または TMT で直接撮像可能であることが分かった。このような、Gaia の観測期間よりも長い周期の惑星は、基本的に Gaia 単独では質量を決定できない。しかし、直接撮像でその惑星を同定することにより惑星質量を決定できることが分かった。したがって、アストロメトリ法と直接撮像法の二重検出により、長周期惑星の質量を力学的に決定できると期待される。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

P206a すばる望遠鏡/HDS を用いたヨードセル法での視線速度測定精度の検証

長谷川 椋 (東京工業大学), 佐藤文衛 (東京工業大学), 原川 紘季 (国立天文台)

系外惑星の観測手法の一つである視線速度法では、主星の光のドップラーシフトから惑星の重力によって引き起こされる主星の運動を調べることで、惑星の質量や軌道に制限を与える。この視線速度法の中でも、すばる望遠鏡と高分散分光器 HDS ではヨードセル法という手法を用いて中長期的に 2-3m/s の測定精度を達成している。これに対して、同じ手法の Keck/HIRES(Howard et al. 2014) や参照スペクトルに ThAr の輝線を用いる ESO/HARPS(Lovis et al. 2006) では、1m/s かそれ以下の精度を達成している。すばる/HDS でも 1m/s 以下の精度で観測できれば、 $1M_{\text{Sun}}$ の中心星近傍 ($\leq 0.1\text{AU}$) にある $3M_{\text{Earth}}$ の惑星を検出可能になる。また、1m/s の精度が達成できない場合でもその原因となる誤差要因を探することで、今後の高精度な視線速度解析パイプラインの開発につながる。

我々は、すばる/HDS で達成できる現在の視線速度測定精度の限界を調べるために、視線速度標準星である Cet(V=3.5) の高精度視線速度観測を行った。観測では波長分解能約 10 万・ピクセルあたりの SN 比約 300 のスペクトルを約 3 時間の連続観測で 106 枚取得した。この観測データを従来の視線速度解析コードで解析した結果、視線速度のばらつきの標準偏差として約 1.5m/s の値が得られた。さらに、フォトンノイズ由来の誤差について調べるために、波長スケール・器械輪郭・解析に使用する波長域等を観測データに合わせた模擬データの作成とその解析を行った。結果として、模擬データの解析から観測データの SN でのフォトンノイズ由来の誤差は約 1m/s であることがわかった。この誤差と観測結果との差の原因は恒星の太陽型振動または解析由来の誤差と考えられる。また、SN を上げることによりすばる望遠鏡でも 1m/s 以下の精度を達成できる可能性があることがわかった。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

P207a すばる IRD による M 型矮星周りの地球型惑星探索 III: 事前観測

大宮正士(国立天文台)、佐藤文衛、平野照幸(東工大)、葛原昌幸、小谷隆行(ABC)、青木和光、中島紀、福井暁彦、原川紘季(国立天文台)、成田憲保、田村元秀(東大)、比田井昌英(東海大)、西山正吾(宮城教育大)、IRD チーム

我々は、すばる望遠鏡用に製作を進めている赤外ドップラー装置(IRD: e.g. 2016 年春季年会 V216a)を用いて、これまでの可視光観測では難しかった晩期 M 型矮星のドップラー法による惑星探索を行うことを計画している(e.g. 2015 年春季年会 P231a)。とりわけ、本惑星探索では、ハビタブルゾーンが主星に近い低温度低質量の M 型矮星を狙うことによって、ドップラー法によるハビタブルゾーンに位置する 1 地球質量の惑星の発見と低質量星における惑星系の理解を目指している。本講演では、IRD の装置開発と並行して進めてきた、すばる/IRD を用いた晩期 M 型矮星周りの地球型惑星探索のターゲットに対する事前観測について報告する。

本惑星探索の目標を達成するためには観測に適する星を選別する必要がある。特に、晩期 M 型矮星にはドップラー法での惑星探索においてノイズとなる表面活動が活発な星や自転速度が速いために高精度の視線速度測定に適さない星が多いことがわかっておりターゲット星の選定は非常に重要である。そのために、我々は既存のカタログ情報から選んだ約 300 星の近傍晩期 M 型矮星に対して、X 線、UV、 $H\alpha$ 線の指標から活動が弱く自転速度が遅い星を選定するための事前観測プログラムを進めている。 $H\alpha$ 線指標の情報がない天体に対して OAO188cm 望遠鏡と可視分光撮像装置 KOOLS を用いて $H\alpha$ 線周辺の波長域の分光観測を行い、これまでに 88 星に対して $H\alpha$ 線の等価幅を用いて活動度の評価を行った。これまでの結果を合わせると、我々のターゲットの条件に合う天体は 80 星であるが十分ではなく、今後も観測を継続して目標のサンプル数の確保に努めたい。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P208a 岡山 188cm 望遠鏡/MuSCAT によるハビタブル惑星候補 K2-3d のトランジット観測

福井暁彦 (国立天文台), John Livingston, 成田憲保 (東京大学), 日下部展彦 (アストロバイオロジーセンター), 平野照幸 (東工大), 鬼塚昌宏, 笠嗣瑠 (総研大)

K2-3d は、Kepler 衛星の第二期サーベイ (K2) によって発見された太陽系近傍の M 型星を公転する小型トランジット惑星 (1.5 倍地球半径) であり、公転周期が 44.6 日と比較的長く、ハビタブルゾーンの内縁付近に位置すると考えられている。主星が明るいことから次世代望遠鏡を用いて大気の詳細調査が可能であり、将来のバイオマーカー探索の対象として現在最も有力な候補の一つである。しかし、K2 の探索期間中 (1 領域あたり約 80 日間) に K2-3d のトランジットは 2 回しか観測されていないため、公転周期の決定精度が悪く、将来のトランジット時刻の予報誤差を深刻に大きくしている。そこで我々は、公転周期の精度改善を目指し、岡山観測所 188cm 望遠鏡と可視 3 色同時撮像カメラ MuSCAT を用いて K2-3d のトランジット測光観測を実施した。トランジットの減光率は約 0.06% と地上での検出限界ぎりぎりの大きさであるが、多色データを用いて地球大気由来の系統誤差を低減させる新たな解析手法を導入し、2.5 シグマ程度の有意性でトランジットを捉えることに成功した。この観測は K2-3d に対する初の地上フォローアップであり、今後 K2 や TESS で発見されるハビタブル惑星候補の地上フォローアップの可能性を示すものである。本講演では観測・解析の概要と将来の展望を報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P209a **K2-ESRPINT プロジェクトによるトランジット系外惑星探査：特徴的な惑星系の報告と将来展望**

平野照幸，佐藤文衛（東工大），福井暁彦，竹田洋一，工藤智幸，鬼塚昌宏，笠嗣瑠（国立天文台），成田憲保，葛原昌幸，日下部展彦，田村元秀（アストロバイオロジーセンター），Enric Palle (IAC), Josh Winn (MIT), Ignasi Ribas (IEES), Simon Albrecht (オーフス大学)

2013年に姿勢制御用のホイールの故障によりミッションを中断していたケプラー宇宙望遠鏡は，2014年に第2次ミッション K2 として復活し，現在黄道面に沿った探査領域を約3ヶ月ごとにモニター観測して新たなトランジット惑星の候補を探している。K2は最近ミッションが延長されることが正式に決定され，燃料がなくなる2018年ごろまでの継続が予定されている。これにより黄道面に沿った領域をよりくまなく探査することが可能となる。

我々はK2ミッション開始直後から，K2で得られたピクセルデータを解析してトランジット惑星候補を検出・追観測するプロジェクト ESRPINT を立ち上げ，現在までに数多くの惑星を追観測によって確認している。我々の追観測には，(1)AO撮像による背景天体の確認，(2)視線速度法による惑星質量の制限，(3)地上からのトランジット追観測，等が含まれこれらを組み合わせることにより効率よく惑星系の発見確認が可能となる。本講演では ESRPINT プロジェクトによる最新の研究成果を概観する。特に，(1)進化した星周りでの短周期惑星や，逆に(2)若い星周りの(複数)トランジット惑星など，太陽型星周りの興味深い惑星系について重点的に紹介する。また今後IRDなどの近赤外での視線速度観測が本格的に動き出すことを見越し，K2ミッションを利用した低温星周りのトランジット惑星探査の展望についても議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P210a ケプラー測光データを用いた長周期惑星のリング探査 II

逢澤正嵩 (東大), 上原翔 (首都大学東京), 増田賢人, 河原創, 須藤靖 (東大)

これまでの人類の歴史において、太陽系外惑星周りのリングは発見されていなかった。前回の講演では、ケプラーで発見された86の長周期惑星にターゲットを絞って、それぞれの蝕の光度曲線を目視により系統的に精査した結果、リングをもつ可能性のある惑星候補を発見したことを報告した。今回は光度曲線上でリングをもつ惑星の兆候が検出されなかった系においても、リングの存在について定量的な制限を与える。

まず、ある深さと継続時間をもつ蝕の光度曲線に対して、仮に惑星がリングをもっている場合にどの程度のシグナルが生じるかを、リングの大きさの関数として求める手法を開発した。この手法から予測されるシグナルと実際に観測された光度曲線上のシグナルの有無を比較することで、リングの大きさに上限を与えることができる。ただし、ここでのシグナルとは、リングをもつ惑星による蝕の光度曲線をリングを持たない惑星によって無理やりフィットした時のズレのことを指す。

次に、86の長周期惑星候補の全ての光度曲線を改めてリングを持たない惑星モデルでフィットをして、観測データとリングのないモデルとのズレを評価した。そして、この観測的なズレと、惑星がリングを持っていた場合に生じるべき信号の大きさを比較することで、各惑星におけるリングの有無を定量的に評価した。その結果、観測的なノイズが大きすぎる66の系では、リングの大きさに上限がつかないことを示した。また、観測的なズレが小さい6つの系においては、ある仮定のもとではリングの外径が惑星半径の1.7倍以下であることを示した。本講演では以上の流れに沿って、リング惑星の探索の具体的な手法およびその結果の解釈の仕方について発表する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P211b ALMA 望遠鏡を用いたデブリ円盤のCO観測

樋口あや (理化学研究所), 小林浩, 石原大助, 渡邊華, 金田英宏 (名古屋大学), 佐藤愛樹, 百瀬宗武, 塚越崇 (茨城大学)

デブリ円盤とは、原始惑星系円盤内で惑星形成がほぼ完了し、ガス成分が散逸され始め、ダストの残骸がリング状に集まり光っている段階を指す。このようなガス成分の散逸は、惑星形成に様々な影響をもたらす、特に地球形成の最終段階の巨大衝突ステージを引き起こす重要な段階であり、我々はこれらの過程を観測と理論モデルを合わせて明らかにしたいと考えている。原始惑星系円盤からデブリ円盤へのガスの散逸過程を観測的に理解するには、多くのサンプルを観測しデブリ円盤の残り少ないガスを検出する必要があるが、既存の望遠鏡ではガス成分を検出することは難しかった。

近年 ALMA 望遠鏡によるデブリ円盤のガス観測が進んでおり、ALMA の高感度・高分解能観測のおかげで、デブリ円盤に付随する希薄なガス成分も徐々に検出可能になってきた。そこで我々は、あかり衛星のデータ解析からデブリ円盤候補天体として同定され、かつ ALMA 望遠鏡のアーカイブデータがある 10 天体に対しダスト連続波と CO の解析を行った。その結果、5 天体で CO ガスが検出され、そのうちの 2 天体では初めて CO ガス成分が検出された。これによりガス成分の検出が報告されたデブリ円盤は全部で 9 天体にまで増えてきた。本講演では、CO ガスとダストの空間構造の比較、CO ガスの速度構造の調査、柱密度や質量の導出などを行い、CO ガスの起源として、(1) 原始惑星系円盤の生き残り、(2) ダストからの昇華などによる 2 次的なガス生成、の 2 つの可能性を議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P212b プレアデス星団メンバー星 HII 3441 に付随する褐色矮星質量伴星の発見

小西美穂子 (国立天文台), 松尾太郎 (大阪大学), 山本広大 (京都大学), Matthias Samland (MPIA), 須藤 淳, 芝井 広 (大阪大学), 伊藤洋一 (西はりま天文台), 深川美里 (名古屋大学), 住 貴宏 (大阪大学), SEEDS/HiCIAO/AO188 チーム

我々は、すばる望遠鏡の戦略枠の一環で高コントラスト撮像装置と補償光学システムを用いて、年齢が1億年程度の散開星団や運動星団に属する星の周りで褐色矮星および惑星の探査を行ってきた (参考: 2014年秋季年会 P230a 須藤など)。その探査の中で、プレアデス星団 (距離: 135 pc、年齢: 120 Myr) のメンバー星 HII 3441 の周りに褐色矮星質量の伴星 (HII 3441B) を発見した。主星からの射影離角は 0.49 秒 (65 AU 程度) であった。 J (1.2 ミクロン)、 H (1.6 ミクロン)、 K_S (2.2 ミクロン) バンドの明るさと恒星の進化モデル (BT-Settl モデル) を用いたところ、HII 3441B は 65 から 72 木星質量程度であり、有効温度が約 2700 度 (M7 型星) であることが推定できた。そのため、 H バンドにメタン分子による有意な吸収が検出されなかったことと矛盾ない。HII 3441B の発見は、過去に報告されたプレアデス星団に属する 2 つの褐色矮星伴星 (HII 1348B と HD 23514B) に続く成果である。まとめると、我々のプレアデス星団の探査で 21 個の星を観測したところ、3 つの褐色矮星質量の伴星 (既に報告された 2 つを含む) の検出に成功したことになる。この結果から、プレアデス星団のメンバー星で褐色矮星質量の伴星をもつ割合が約 10% と推定できる。この値はプレアデス星団や他の散開星団から導出された値と矛盾ないことが示せた。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P213b **Habitability around Magnetically Active and Low Mass Stars**

大石碧, 渡邊恭子, 釜谷秀幸 (防衛大学校)

生命の発生、維持において中心星からの UV 量を評価することは重要である。過剰な UV 量は DNA 配列へダメージを与えるが過少の場合も生体内での活性ビタミン D の生成が阻害され、また進化に有用な突然変異の起きるポッシビリティが低下するなどの弊害が生じる。特に知的生命体への進化を期待するならば、適切な UV 量が必要である。そこで、前回の講演において、宇宙における生命が居住できるハビタブルゾーン (HZ) に加え、UV が生命に与える影響を考慮した UV-HZ をモデル化した。しかしながら、HZ と UV-HZ の重複領域は狭く、両者の条件を満たす恒星の質量範囲は約 1.0 ~ 1.5 太陽質量と、非常に限定的であることが分かった。特に低質量星はその寿命の長さから生命存在のかのうせきが示唆されているものの UV 量の少なさ故にこの範囲から外れている。

ところで今回は、低質量星の Magnetically Active Phase において発生する強大なコロナ質量放出 (CME) による UV 量の増加を考えた。これを考慮するにあたり、CME の温度を 10^5K と仮定し、その力学進化モデルを採用した。その結果、CME における UV 量は約 10^{15}J/s であることが分かった。これは地球が太陽から受けている UV 量とほぼ同値である。この CME における UV 量の供給を考えると、低質量星の UV 量過少を補うことができる。これらを総合的に評価すると、低質量星においてはフレア星をターゲットとして生命探査を行うことが望ましいと言える。本講演では、UV 量の増加による低質量星における生命存在領域の拡大に関して議論する予定である。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P214c **ガイアンボトルネックを考慮した原始的生命を保持する惑星数評価**

釜谷秀幸，栗原翠，大石碧（防衛大学校）

近年、Gaian Bottleneck(GB)の重要さが指摘されている。GBとは、ある惑星で生命が発生したとしても、生命自体による惑星環境の調整がうまくいかず、10億年ほどで絶滅するというシナリオである。このGBを認めると、現代の知的生命探査でその兆候が全く検出できていないことを定性的に説明できる（Chopra and Lineweaver 2016）。さて、このボトルネックを採用した際に、生命を保持する惑星数はどの程度であろうか？

惑星系形成の標準シナリオと現在の恒星の質量関数そして恒星進化の効果を考慮することで、生命の発生と進化が可能な惑星数が推定されている（Guo et al. 2009）。彼らによると、銀河系には約455億個の地球型惑星がハビタブルゾーンに存在することとなる。彼らは、生命の発生には時間が必要であると考え、その約10分の1である43億個に原始的な生命体が存在すると推定している。これは、単位立方pc当たり0.03個の見積もりとなる。

彼らのシナリオにGBを適用してみる。興味ある恒星の分光型はMKGFであろう。F型でもMS期間は約18億年であるため、これらの恒星のMS期間はGBとなる10億年より長い。初期質量関数の進化が十分に緩やかであるとし、現在の銀河系における恒星形成率を採用すると原始的な生命を持つ地球型惑星数は10億個程度となる。ところで、これはGuo等の推定数と同程度であるが、同じ位となる理由は無く偶然と考えられる。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P215c **K2 Exoplanets and Follow-up with Spitzer and Ground-based Telescopes**

John Livingston (University of Tokyo), Michael Werner (JPL/Caltech), Varoujan Gorjian (JPL/Caltech), Charles Beichman (NExSci/Caltech), Ian Crossfield (University of Arizona), Erik Petigura (Caltech), Joshua Schlieder (Caltech), Motohide Tamura (University of Tokyo)

We report the discovery and characterization of planets using K2, Spitzer, and ground-based telescopes. K2 is continuing the legacy of Kepler by observing a succession of fields in the ecliptic plane, with a particular focus on late-type host stars. We have found large numbers of candidates in the K2 data and subjected them to high resolution imaging and spectroscopy in order to characterize the host stars and their environments. This process helps us to eliminate various false positive scenarios which could mimic the transit signal of a bona fide planet, as well as place tight constraints on physical properties such as size and equilibrium temperature. We statistically validate ~ 100 planets from K2's first five observing campaigns, and use Spitzer to conduct follow-up transit observations of a large number of these. Spitzer's high precision and high observing cadence allow us to constrain the physical and orbital properties of these planets much better than is possible with the K2 data alone. In addition, the Spitzer transit observations occur many orbits after the initial ~ 80 day K2 observations and thus yield a much more accurate determination of orbital period, which is crucial for future atmospheric studies in the JWST era. Due to the small size of their host stars, some of these present opportunities to characterize potentially habitable Earth-like planets.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P216a **Water deuteration as a probe of the origin of H₂O in protoplanetary disks**

古家健次 (筑波大), Maria N. Drozdovskaya (Leiden Observatory), Ruud Visser (ESO), Ewine F. van Dishoeck, Catherine Walsh (Leiden Observatory), Daniel Harsono (Heidelberg University), Ugo Hincelin (University of Virginia), Vianney Taquet (Leiden Observatory)

The level of deuterium fractionation in molecules (measured via the HDO/H₂O abundance ratio for water) depends on their formation environments. Comets are thought to be the most pristine objects of the cold ice-bearing regions in the solar nebula. Based on the measurements of the HDO/H₂O ratio in cometary comae, there are long-standing arguments on the origin of cometary water (i.e., disk water). The suggested possibilities range from prestellar inheritance to in-situ formation in protoplanetary disks as two extremes. The main difficulty in distinguishing between these two cases comes from the fact that deuterium fractionation of molecules can occur efficiently both in the prestellar stages and in the cold midplane of protoplanetary disks.

Based on astrochemical modeling from molecular clouds to protoplanetary disks, we find that the ratio of D₂O/HDO to HDO/H₂O is a better probe to distinguish the two cases than solely the HDO/H₂O ratio. Future D₂O observations with H₂O and HDO toward cometary comae would provide the strongest constraints on the origin of cometary water.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P217a **磁場駆動円盤風を考慮した原始惑星系円盤の進化**

鈴木 建 (東京大学), 萩原 正博 (国立天文台), Alessandro Morbidelli (Observatoire de la Côte d'Azur, CNRS), Aurélien Crida (Observatoire de la Côte d'Azur, CNRS / Institut Universitaire de France), Tristan Guillot (Observatoire de la Côte d'Azur, CNRS)

原始惑星系円盤は弱電離プラズマであり、磁場がその動力学や進化に影響を与えている。本発表では、磁気乱流等に起因して駆動される円盤風が、原始惑星系円盤の進化に与える影響を調査した研究結果を紹介する。

粘性加熱を考慮した標準的な降着円盤モデルに、磁場駆動円盤風による質量損失と角運動量損失を取り入れ、原始惑星系円盤の時間進化を追う。モデル計算では、乱流による実効的粘性強度、円盤風の質量流束、円盤風による角運動量損失が3つのパラメーターとなっており、これらには我々や他グループによりこれまで行われた磁気流体数値シミュレーションの結果を用いる。但しここで、円盤風の質量流束が降着円盤の大局的なエネルギー保存を矛盾なく満足するようモデルを構築しており、これが本研究の特色の1つである。

上記の乱流および円盤風パラメーターは、円盤を貫く縦磁場強度や電離度という、各円盤の物理環境に依存している。このことを踏まえ、広いパラメーター範囲での計算を行い、その結果、原始惑星系円盤の面密度進化は非常に多様なものとなった。特に、円盤風による角運動量抜き取りが効果的に効く場合、円盤面密度進化は通常の粘性降着の場合と大きく異なるものになった。具体的には、内側のガス円盤が円盤風および降着により非常に効果的に消失し、面密度が中心星から離れるに従い大きくなるという、通常とは逆の傾向が得られた。このような進化を経る原始惑星系円盤で、コア降着機構による惑星形成がどのように進むかについても論じる予定である。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P218a 中心星の照射を受ける原始惑星系円盤における重力乱流

廣瀬重信 (JAMSETC), Jiming Shi (Princeton University)

Gammie (2001) は、ケプラー回転する降着円盤において、冷却時間が軌道周期よりも長い場合に、重力不安定による乱流が維持され得ることを示した。それ以来、重力乱流 (=gravitoturbulence) は、降着円盤における局所的な角運動量輸送メカニズムの一つとして注目されている (Paardekooper 2012, Riols & Latter 2016 など)。特に、原始惑星系円盤では、重力乱流は、磁気回転不安定性が駆動する磁気乱流が働かない低温領域において、それに変わる局所的な角運動量輸送メカニズムとなる可能性が議論されている (Zhu+ 09, Martin & Lubow 11, Shi & Chiang 2014 など)。実際、自己重力によるトルクが、グローバルなスパイラル構造として働くか、局所的な乱流として働くかは、惑星形成プロセスに与える影響も大きい。

これまでの重力乱流の研究では、重力不安定の駆動に温度が最も重要な量の一つであるにもかかわらず、ほとんどの場合、単純化した冷却関数を用いて温度が決められている。また、原始惑星系円盤への応用では、主要な熱源となる中心星の可視光照射の影響 (c.f. Takahashi & Inutsuka 2015) が考慮されていない。そこで、本研究では、シアリングボックスと3次元輻射流体力学シミュレーションを用いることにより、原始惑星系円盤における現実的な輻射輸送のもとで、重力乱流の起きる条件とその性質を調べることにした。ここで、円盤ガスの輻射場は、流束制限拡散近似を用いた輻射輸送方程式を解くことにより求め、中心星からの可視光照射による加熱率は、吸収のみを考慮したレイトレーシングを解いて算出する。このセットアップのもとでは、中心星からの可視光照射のパラメータを除くと、物理パラメータはシアリングボックスの角速度と面密度だけになる。本講演では、主に面密度をパラメータとした計算結果について報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P219a 原始惑星系円盤でのガスとダストの相互作用による不安定性の3次元数値シミュレーション

大西勇武, 関谷実 (九大・理・地球惑星科学)

原始惑星系円盤でのガスとダストの相互作用による不安定性には、Streaming instability (SI) や Kelvin-Helmholtz instability (KHI) などが知られている。SI は Youdin & Goodman (2005) により提唱された不安定性であり、動径方向のガス圧力勾配によるダストとガスの速度差に起因してダストが濃集する不安定性であり、Youdin & Johansen (2007) による線形解析や Johansen & Youdin (2007) による数値シミュレーションによって、詳細に調べられている。一方、初期のダスト分布が円盤の垂直方向に一様でない場合に KHI が生じることは、Weidenschilling (1980) により提唱された。Ishitsu et al. (2009) は、十分に沈殿したダスト層では SI より KHI が優位に起こることを示した。鉛直方向の重力を入れた場合の数値シミュレーションは、Bai & Stone (2010b,c) により行なわれている。

本研究では、原始惑星系円盤のガス・ダスト系における SI と KHI を含む不安定性の総合的な理解をさらに発展させることを目指して、Bai & Stone (2010a) により開発された Athena コードを使用して数値計算を行った。3次元局所座標で円盤垂直方向の重力を入れた場合に、Bai & Stone (2010c) で確かめられていない幅広いパラメータ空間において数値シミュレーションを行った結果を報告し、円盤内のガスとダストの相互作用による不安定性に関する総合的な考察を行う。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P220a 永年重力不安定性の非線形発展 1 : 高精度数値計算法の開発

富永遼佑、犬塚修一郎 (名古屋大学)

惑星形成の古典的標準理論では、原始惑星系円盤中でダストが自己重力によって集積し合体成長することで惑星が形成されると考えられている。原始惑星系円盤は主に水素分子からなるガスと固体微粒子 (ダスト) からなり、ダストにはガスとの速度差に起因する摩擦力が働く。この摩擦によって永年重力不安定性 (Secular GI) という不安定性が起こることが指摘されている (e.g., Takahashi & Inutsuka 2014)。Secular GI は自己重力安定な円盤で起こるため、新たな微惑星形成法として提唱された。しかし微惑星形成過程を詳細に解析するためには Secular GI の大局的非線形成長を調べる必要がある。近年の観測によって原始惑星系円盤中に様々なリング構造が発見された。特に 2015 年にアタカマ大型ミリ波サブミリ波干渉計 (ALMA) によって観測された HL Tau の多重リング構造は大きな注目を集めている (ALMA Partnership et al. 2015)。Takahashi & Inutsuka (2016) では、HL Tau のリング構造が Secular GI によって説明されうることを線形理論によって示している。したがってこの ALMA で発見されたリング形成のメカニズムを理解するためにも Secular GI の大局的進化を調べることは非常に重要である。

本研究の目的は数値計算によって Secular GI の大局的非線形成長過程を調べることである。Secular GI の成長時間は円盤の回転周期と比べてかなり長いので、数値散逸を生じることなく長時間流体の計算を行える計算法を用いる必要がある。そこで本研究では Symplectic 法を数値流体力学に応用した新しい数値計算法を開発した。開発した計算法では Lagrange 的な定式化を行うことで数値誤差によるエネルギー散逸を回避している。本講演では開発した数値計算法を紹介し、Secular GI の非線形発展について議論する。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

P221a 原始惑星系円盤のギャップ構造と惑星質量の関係：観測への応用

金川和弘(シュテッチェン大学), 武藤恭之(工学院大学), 田中秀和(東北大学), 谷川享行(一関工業高等専門学校)

ALMA や Subaru 望遠鏡と言った大型望遠鏡による原始惑星系円盤の直接撮像観測によって、リング状に物質密度が低下したギャップ構造を持つ原始惑星系円盤が多数発見されている。このような円盤ギャップ構造は巨大惑星と原始惑星系円盤との重力相互作用で自然に説明できる。そのため、原始惑星系円盤のギャップ構造は惑星の存在を示すものとして着目されている。原始惑星系円盤の直接撮像観測が盛んに行われている現状において、観測された原始惑星系円盤ギャップの深さや幅といった構造からギャップ内に存在する惑星についてどの程度制限を与えられるのかを検討することは極めて重要である。

本研究では、2次元流体シミュレーションを様々な惑星質量、円盤温度や粘性について系統的に行い、その結果を基に動径1次元の惑星ギャップのガス密度分布の理論モデルを構築した。この理論モデルは数値流体計算で得られたギャップのガス面密度構造を良く再現する。本講演では、このモデルを紹介すると共に、ギャップの深さ・幅関係や面密度分布の勾配から惑星質量を見積もる方法を議論する。

また、現在発見されているギャップ構造はダスト連続光の観測で見つかったものが主である。ダスト粒子は円盤ガスから受ける摩擦力のため、サイズの大きなダストほどガスの分布と異なる分布になる。そのため、惑星によって作られるギャップの深さ・幅も異なる。本研究では、ガス・ダストの2流体での流体シミュレーションを行い、ダストギャップの幅と深さがガスギャップのものとはどの程度異なるのかを調べた。本講演ではこの結果についても紹介したい。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P222a 原始惑星系円盤の理論モデルの観測予想と円盤年齢の見積もり

村川幸史（大阪産業大学）、奥住聡（東京工業大学）、片岡章雅（ハイデルベルグ大学）、田中秀和（東北大学）、小林浩（名古屋大学）、武藤恭之（工学院大学）、田崎亮（京都大学、東京工業大学）

我々は、空隙を持つダスト成長した原始惑星系円盤の理論モデルに対し、輻射輸送計算を行ってきた。この円盤モデルでは、ダストが低密度の構造をとるように衝突成長することで、 10^6 yr までの進化段階において、内側 10 AU 程度以内では微惑星が形成されることが示された。また、ストークス数が 1 に達する程にダストが成長する臨界領域（成長フロント）では、幾何学的に薄いダスト層が形成されており、輻射輸送の計算から、この領域の外縁は、中心星から集中的に輻射を受け加熱されることが分かった。これにより、ミリ波画像には、リング状のフィーチャーが現れる。我々は、ダスト成長方程式からこの成長フロント半径 R_c と円盤年齢 t_{disk} の関係式を定式化し、 $R_c = 0.018(M_*/M_\odot)^{1/3}(\zeta_d/0.01)^{2/3}(t_{disk}/1yr)^{2/3}$ (AU) という結果を得た。ここで、 M_* と ζ_d は、それぞれ中心星質量とダスト対ガス質量比を表す。近年、ALMA 望遠鏡を用いて観測された HL Tau のサブミリ波画像に対し上式を適用したところ、円盤の年齢が 3×10^5 yr ほどと見積もられ、これまでの観測結果からの予想とよく一致していることを確認した。今回我々が行っている、理論モデルの原始惑星系円盤の観測予想を立てる試みは、実際の観測結果に対してより正確な解釈を与えることが期待できる。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P223a

GG Tau に付随する周連星円盤におけるダストの性質

田崎亮 (京都大学/東京工業大学), 奥住聡 (東京工業大学), 田中秀和 (東北大学), 武藤恭之 (工学院大学), 野村英子 (東京工業大学)

近年、高い空隙率を持ったダストが、微惑星形成において重要な役割を果たすと考えられている。しかし、そのような高空隙率ダストの存在は観測的に実証されていない。そこで、我々は、高空隙率ダストの光学特性を考慮した円盤の輻射輸送計算の結果と実際の円盤観測とを比較することで、高空隙率ダストの存在の観測的実証を目指す。本研究では、GG Tau に付随する周連星円盤 (以下、GG Tau) に着目した。GG Tau の観測的特徴として、円盤の長軸に対して非対称な表面輝度を持ち、かつ、高い偏光度を持つことが知られている。

まず Tazaki et al. (2016) によって構築された高空隙率ダストの散乱モデルを用いて、3次元の輻射輸送計算を行い、GG Tau の観測モデリングを行った。その結果、GG Tau で観測されている表面輝度の非対称性、及び、偏光度は、高空隙率ダストの散乱特性を用いて説明可能であることがわかった。また、高空隙率ダストにおいて、 $0.1 \mu\text{m}$ のモノマーサイズ、かつ、光学定数として Astronomical Silicate を仮定した場合、円盤からの散乱光の光度が観測されている値に比べて、約1桁程度明るくなってしまうことがわかった。円盤散乱光の光度を観測値と整合させるためには、モノマーの反射率をある値よりも下げる必要がある。反射率は粒子のサイズや光学定数などに依存するため、ここから、モノマーの性質に対して観測的制約を与えられる可能性がある。仮に、光学定数として Astronomical Silicate を仮定した場合、 $0.01 \mu\text{m}$ 程度のモノマーサイズの高空隙率ダストが観測を概ね再現できることを示した。本講演では、本結果の妥当性、および、円盤におけるダストの付着成長に対する示唆について議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P224b 非定常電離度進化を考慮した原始惑星円盤のグローバルシミュレーション

藤井悠里, Oliver Gressel (ニールス・ボーア研究所)

原始惑星系円盤は宇宙線や中心星からの X 線や紫外線、放射性核種の崩壊などによって弱く電離されていると考えられている。円盤ガスが十分に電離されていると、磁気回転不安定性 (MRI) によって円盤が乱流状態になる。しかし、赤道面付近の密度が高い領域では、電離度が低いためオーム散逸によって乱流の発達が妨げられる。また、円盤表面付近では両極性拡散によって MRI が安定化されることが知られている。このような非理想磁気流体力学的 (MHD) 効果を考慮するためには、円盤ガスの電離度を計算する必要がある。一般的には計算コストを節約するために、密度と温度から決まる平衡解を用いて電離度が評価されることが多い。しかし、化学反応のタイムスケールが力学的進化のタイムスケールよりも大きくなる場合には、電離度進化の非平衡性が効いてくる。実際に、我々のこれまでの研究により、電離度が平衡解からずれる領域があることが示唆された。これまでは局所計算を用いて原始惑星系円盤の MHD 計算を行ってきたが、円盤風の効果を適切に取り扱うためには、グローバル計算が必要不可欠である。よって、本研究ではグローバル MHD 計算を用いて非平衡電離度進化を考慮したより現実的なシミュレーションを行う。本講演では、計算コードの開発状況とテスト計算の結果を報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P225c 原始惑星系円盤における宇宙線陽子の伝播

Soonyoung Roh (UNIST), 藤井悠里 (ニールス・ボーア研究所), 犬塚修一郎 (名古屋大学), 鈴木建 (東京大学), 百瀬宗武 (茨城大学)

宇宙線は原始惑星系円盤の化学進化や磁気流体力学的進化を担う最も重要な要素の一つである。宇宙線によって円盤ガスが電離され、それによって様々な化学反応が誘発されることが知られている。しかし、実際にどの程度のエネルギーの宇宙線がどれくらい原始惑星系円盤に入射するのかは詳しく分かっていない。よって、円盤の磁気流体力学的進化を調べる際に必要なガスの電離度の評価や化学進化の計算には、星間媒質の宇宙線電離率が広く用いられている。そして、円盤内部における電離率は、一般にその場所から円盤表面までの柱密度を用いて評価されている。しかし、実際には、磁気回転不安定性によって円盤が乱流状態になっているため、その複雑な磁場構造によって宇宙線はまっすぐ入射出来ないと考えられる。したがって、宇宙線粒子が掃く柱密度は直線距離よりも大きくなることが期待される。本研究では、この効果による影響について調べるために、3次元グローバルシミュレーションの結果を用いて、原始惑星系円盤に入射した宇宙線粒子の軌道とエネルギー損失を計算した。本講演では、乱流磁場による宇宙線フラックスの減衰について議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P226b ロスビー波不安定性による密度バンプ構造の非線形進化

小野智弘 (京都大学), 武藤恭之 (工学院大学), 富田賢吾 (大阪大学), 野村英子 (東京工業大学)

近年の観測の進展によって、非軸対称なダスト分布を持つ円盤の存在が明らかにされてきた。非軸対称な円盤構造は、ロスビー波不安定性によって形成されると期待される。ロスビー波不安定性は差動回転円盤中で起こる流体不安定性である。円盤が密度バンプのような、動径方向に急激な変化を持つ時、不安定となり大きなガス渦が形成される。大きなガス渦がダストを集積し、観測されるような非軸対称ダスト構造が形成されると考えられている。さらに、渦がダストを集積する性質から、ロスビー波不安定性が惑星形成への影響を持つことも期待されている。ロスビー不安定性については多くの先行研究があるものの、観測される非軸対称構造を説明するには至っていない。これは、ロスビー波不安定性の非線形段階に関する理解が不十分であるためである。

Ono et al. (2016) では、ロスビー波不安定性に関する詳細な線形安定性解析をおこない、不安定になる条件を定量的に求めることに成功した。本研究では数値計算をおこない、その結果を線形安定性解析の結果と比較することで、ロスビー波不安定性の非線形段階の理解を深める。様々な軸対称密度バンプ構造を初期におき、二次元流体数値計算をおこなった。二次元進化を見るだけでなく、方位角方向に平均した密度構造の進化にも着目する。平均密度分布は常にバンプ形状をしているが、不安定の成長と共にバンプの高さが減少、幅は増加していく。この際、二次元空間ではあるモードの渦が成長して行く様子が見られる。さらに成長し、ある不安定モードについて中立安定に至ると、平均密度バンプの成長は振動的になる。この際、二次元空間では渦の合体が起こり始める。本講演ではこれらの結果についてまとめ、ロスビー波不安定性の非線形成長について議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P227b 原始惑星系円盤中における惑星大気への円盤ガスの流入と大気流出

黒川宏之, 篠山大輝, 中本泰史 (東京工業大学)

太陽系内の地球型惑星は集積物質からの脱ガスを起源とする大気を持っていることが古くから知られている。一方で、系外惑星の中には原始惑星系円盤ガスの捕獲を起源とする大気を保持していると考えられる、低密度のスーパーアースが数多く発見されている。原始惑星系円盤の中で形成される惑星は一般に、この脱ガス成分と円盤ガス捕獲成分の混成大気を纏っていたと考えられる。従来、多くの惑星大気形成過程の研究においては、ボンディ半径もしくはヒル半径を境界とし、惑星大気は円盤ガスと隔てて扱われてきた。しかし、近年の流体シミュレーションでは、境界面から惑星大気への円盤ガスの流入や、惑星大気の流出が起こることが示唆されている [1,2]。そこで本研究では、この惑星大気への円盤ガスの流入と大気流出が原始惑星系円盤散逸後に残る惑星大気量・大気組成に及ぼす影響を明らかにすることを目的とし、研究を行った。

まず、原始惑星系円盤中に存在する原始惑星の大気構造を、1次元の放射対流平衡大気構造モデルを用いて計算した。次に、原始惑星系円盤ガスと惑星大気の境界から流入したガス素片の運動をパーセル法を用いて計算した。この時、円盤との境界から、流入した円盤ガスが到達する高度にかけての領域が、惑星大気の流出が起こりうる領域であるとした。その結果、小さい原始惑星質量・大きいルミノシティ・大きい円盤ガス密度・大きい流入速度において大気流出が起こりやすいことがわかった。講演では、本研究で提案する新しい大気損失メカニズムが、太陽系内の地球型惑星の大気量の違いや、スーパーアースの形成に及ぼす影響について議論する。

[1] Ormel, C. W. et al. 2015. MNRAS 446, 1026-1040. [2] Ormel, C. W. et al. 2015. MNRAS 447, 3512-3525.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P228c 1次元放射流体計算による集積期原始巨大ガス惑星からの水素輝線強度の推定輝線吸収の影響

青山雄彦 (東京大学), 谷川享行 (一関工業高等専門学校), 生駒大洋 (東京大学)

若い恒星は周囲にガス円盤 (原始惑星系円盤) を伴うことが知られており、そこが惑星形成の現場であると考
えられている。実際に、若い恒星 LkCa 15 周りには原始惑星系円盤が存在し、赤外放射観測から複数の原始惑星
の存在が確認されている。最近、その一つである原始巨大ガス惑星 LkCa 15b から強力な $H\alpha$ 線放射が検出され
た (Sallum et al. 2015)。これは、現在も LkCa 15b に原始惑星系円盤からガス流入が続いていることを示唆して
いる。しかし、集積中の原始ガス惑星からの水素輝線の発生機構および発生量については理解されていない。本
研究は、原始巨大ガス惑星に流入する高温ガスからの放射量を定量化することを目的とする。原始巨大ガス惑星
に流入するガスに対する流体計算によれば、原始巨大ガス惑星の周囲には小円盤が形成されることが知られてい
る。さらに、最近の流体計算によれば、その小円盤から原始惑星系円盤へのガス流入は鉛直方向に起こり、小円
盤上面では強力な衝撃波が発生することが分かっている (Tanigawa et al. 2012)。水素輝線、特にライマン系列
の輝線は光学的に厚くなるため、衝撃波面から放射される水素輝線強度を推定するためには、衝撃波後面におい
て水素の電子準位分布と輝線の放射輸送を同時に解く必要がある。我々は化学反応と電子準位遷移を考慮した 1
次元放射流体計算を行い、衝撃波後方における放射輸送も考慮して、水素輝線放射の強度を計算した。結果とし
て、原始惑星まわりの円盤の上面から、 $H\alpha$ 線が強く放射される場合があることが分かった。この結果を LkCa
15b に適用し観測結果と比較し、観測された $H\alpha$ 量と整合的な惑星質量および原始惑星系円盤のガス密度に制約
を与えることができた。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P229b **磁気流体波動の散逸による巨大ガス惑星の大気構造および質量放出率の時間変動性**

田中佑希 (国立天文台), Christiane Helling (University of St Andrews), 鈴木建 (東京大学), 犬塚修一郎 (名古屋大学)

系外惑星を様々な波長でトランジット観測することにより、系外惑星大気に関する多くの情報を得ることが可能となっている。特に、短周期惑星の紫外線でのトランジット観測からは、巨大ガス惑星の重力圏を超えて広がる希薄な高層大気と、大量の質量放出の存在が明らかにされつつある。惑星からの質量放出現象は、惑星の大気構造や組成、長期的な進化などに大きな影響を及ぼすと考えられ、現在精力的に研究が行われている。ガス惑星からの質量放出の駆動源として有力視されているのは、中心星からの強いXUV放射による大気の加熱である。これを元にしたこれまでの数値計算では、観測から推定されている質量放出率と整合的な結果も得られている。しかし既存のモデルでは説明が難しかったり、理解が不十分であったりする観測結果も得られており、その一例が高層大気構造や質量放出率の大きな時間変動である。我々はこれまで、惑星大気中の磁気流体波動の散逸が駆動する質量放出のモデルを提案してきた。これは、惑星が固有磁場を持ち、大気に一定の強度の乱流が存在する場合は、乱流のエネルギーが磁気流体波動を介して高層大気を加熱し、質量放出を駆動するというものである。我々のモデルでは高層大気構造や質量放出率には大きな時間変動性があることが示されるため、磁気流体波動による質量放出の駆動は、観測されている大きな時間変動性の原因となり得る。ここでは、我々の数値計算から得られた大気構造と質量放出率の時間変動性について紹介し、観測結果を説明する可能性について議論する。また、XUV放射による質量放出と、磁気流体波動による質量放出を観測的に区別する方法についても議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P230b 高速回転する系外惑星の構造とその進化

藤澤幸太郎 (早稲田大学), 佐藤裕史 (東京大学)

一般的に恒星は自転しており、一部の天体は形状が球から歪むほどに高速で回転している。恒星の周囲を公転している惑星も恒星と同様に自転していると考えことができ、実際に木星や土星といった太陽系内の惑星の自転周期は直接観測されている。水星と金星を除いた太陽系内の惑星の質量と自転速度には良い相関関係があり、質量が大きい惑星ほど自転速度が大きいことが経験的に知られている。特に太陽系内で最大の質量を持つ木星の自転は速く、その形状は自転による遠心力で扁平になっている。

一方で近年の観測の進展により、 β Pictoris b のような木星よりも質量の大きい系外惑星などの自転が観測されるようになってきた (Snellen et al. 2014; Zhou et al. 2016; Allers et al. 2016)。その結果、これらの天体の自転速度はいずれも木星より大きい、太陽系内の惑星の質量と自転速度の相関関係から予想される自転速度よりは小さいことが明らかになってきた。これらの天体はいずれも木星より年齢が若く、今後冷却することで収縮しスピニングアップし、またその形状は木星のように遠心力によって扁平に歪んでいると考えられる。そこで本研究では、高速回転星の形状を求める数値計算コードと、星の進化を計算する数値計算コードを組み合わせ、高速で回転する惑星質量天体の構造の計算と、その熱進化計算を行った。その結果、高速自転により形状は球からずれて扁平であることが分かった。さらに、冷却するにつれて半径が収縮しスピニングアップするため形状はより扁平になり、内部構造によっては太陽系の惑星から予想される自転速度に到達しうることが明らかになった。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P231b **SMILES-2 衛星を想定した太陽系地球型惑星のサブミリ/THz 帯放射輸送シミュレーション**

西田侑治, 齊藤滉介, 森前和宣, 前澤裕之 (大阪府立大), 佐川英夫 (京都産業大学), 鈴木睦 (ISAS/JAXA), 塩谷雅人 (京大生存圏研)

国際宇宙ステーション JEM/SMILES の後継となる SMILES-2 の WG が立ち上がり、サブミリ・テラヘルツ (THz) 波帯での中間圏・下部熱圏の観測が提案されつつある。このミッションでは、 O_3 層回復や温暖化の予測精度向上や重力波/惑星波などの総合的理解を目指し、 H_2O , N_2O , NO_2 , NO , CH_3Cl , CO , H_2CO , OH and O -atom などの分子種を観測ターゲットとし、0.4-2.5 THz 帯までの複数バンドの観測を見据えている (Suzuki et al. Proc. of SPIE, 2015)。受信機には、サブミリ波帯では超伝導 SIS、THz 帯では超伝導ホットエレクトロンボロメータ (HEB) による 4 K 冷却のミクサ検出素子の搭載が検討されている。このため、我々は現在、超伝導 NbTiN 細線を集積した 1.8-2.0 THz 帯 HEB 素子の開発を推進している (齊藤他, 本年会)。SMILES-2 では、太陽系の地球型惑星 (火星や金星) の中層大気の観測も検討中である。中心星の活動により周囲の中層大気環境はどのようにバランスしているのか、また大気散逸がどのように進行するのかを理解する上でも、火星や金星は重要な観測・研究サンプルである。特に太陽系の地球型惑星は CO_2 の安定問題や、ダイナミクスとリンクした大気化学反応ネットワーク、火星のメタン起源・消失過程など、まだよく分かっていない現象が多く、今後のより詳しい観測が鍵を握る。本研究では、火星や金星の OH ラジカルや酸素原子、水やその同位体の高励起線など、地上からの観測が困難な分子のサブミリ・THz 帯スペクトル線について、SMILES-2 を利用した放射輸送シミュレーションを展開している。本講演ではこれら放射輸送モデル・解析結果について報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P232a 微惑星形成過程解明のための乱流の大規模直接数値計算と粒子追跡

小林直樹, 江野畑圭, 石原卓, 白石賢二 (名古屋大学), 梅村雅之 (筑波大学)

原始惑星系円盤のガス乱流中のダストは円盤内で衝突・合体を繰り返して成長し、km サイズの微惑星、そして惑星が形成されると考えられている。しかし、その過程には微惑星形成を妨げる障壁 (中心星への落下問題や衝突破壊問題など) が存在し未解決である。障壁の一つである衝突破壊問題は、岩石ダストが高速衝突するため合体できずに破壊してしまい、成長できないというものである。微惑星形成過程の解衝突破壊問題の解決のためには、 $St = \tau_p/T = 10^{-3} \sim 1$ (τ_p : 粒子の制動時間、 T : 乱流中の最大渦の時間スケール) のダストの乱流中の衝突速度や衝突頻度の正確な評価が必要である。近年、Pan et al. ApJ (2015) は圧縮性流体の近似計算を用いて、乱流中のダストの衝突速度等の評価を行い、惑星科学分野で従来採用されている Völk-type モデルの検証を行った。結果は、中間サイズ ($Re^{-1/2} < St < 1$) で、Völk-type モデルの予測が衝突速度を若干過大評価 (2 倍程度) するというものであった (ここで Re はレイノルズ数)。しかし、Pan らの計算は $Re = 10^3$ 相当の近似計算で慣性領域も狭いため、正確な検証ができていない保証はない。そこで本研究では、非圧縮ナビエ・ストークス方程式の大規模な直接数値計算 (DNS) を用いて、慣性領域がより広い高解像度な乱流場 ($Re > 10^4$) 中で粒子追跡を行い、 $St \sim 0.01 - 0.1$ のダストの衝突速度などの評価を行い、それらの Re 数依存性を調べた。DNS では、 $St \sim 0.01 - 0.1$ の粒子間の相対速度、衝突速度、衝突頻度因子 (相対速度と動径分布関数の積) が Pan らの結果と比較してどれも大きくなるという結果を得た。また、 Re が大きいほど衝突頻度因子が大きくなる傾向があった。動径相対速度の PDF は St が大きいほど裾野が広がるが、衝突限界速度以下の粒子も多く存在していることも確認できた。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

P233a 乱流の直接数値計算を用いた原始惑星系円盤ダストの衝突付着成長シミュレーション

濱端航平, 江野畑圭, 石原卓, 白石賢二 (名古屋大学), 梅村雅之 (筑波大学)

原始惑星系のガス円盤の中には、氷や岩石からなるミクロンサイズ以下の固体微粒子であるダストがガス質量の1%程度存在しており、ダストは円盤内で衝突・合体を繰り返すことでそのサイズを増していき、キロメートルサイズの微惑星、そして惑星を形成していくと考えられている。しかし、この微惑星形成過程には中心星落下や衝突破壊などいくつか理論的な問題点があり未解決のままである。そこで、この問題点を解決できるとして近年注目されているのが乱流の効果である。先行研究では、乱流によって微粒子(慣性粒子)の集中が促進されることなどが明らかになってきている(Pan et al, ApJ, 2011)。しかし、実際の粒子の成長過程を解明するには未だ至っていない。さらに、岩石ダストの場合、限界付着速度条件が氷ダストに比べ厳しく、成長しづらいことも分かってきている。そこで、本研究では、外力のあるナビエ・ストークス方程式を、数値粘性を用いることなく直接数値計算(DNS)し、より正確な乱流場中で慣性粒子の追跡を行い、さらに、限界付着速度条件(Wada et al, A&A, 2013)などを考慮に入れた、簡易な衝突付着成長モデルを導入することにより、岩石ダストを想定した乱流中での慣性粒子の成長の数値実験を行った。その結果、ある密集領域に存在する慣性粒子が、周りの慣性粒子を巻き込み、局所的かつ急激に成長すること、また一旦急激に成長した粒子は、その後成長が緩やかになることが分かった。他の結果については講演にて紹介する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P234a 微惑星衝突破壊・合体の高解像度数値シミュレーションに向けて:FDPS
を用いた弾性体ゴドノフ SPH 法の高速化

杉浦圭祐, 犬塚修一郎, 小林浩 (名古屋大学)

近年の小惑星のその場観測により、小惑星の詳細な姿が明らかとなってきた。その結果、ケレスの表面には多数のクレータが存在しており、チュリユモフ・ゲラシメンコ彗星のような球から離れたいびつな形状をしている小惑星も存在することが明らかとなった。これらの事実は、太陽系初期に形成された微惑星の生き残りである小惑星の進化に、衝突合体及び破壊が深く関わっていることを示している。

微惑星衝突の詳細を調べるために、微惑星の衝突計算が Smoothed Particle Hydrodynamics (SPH) 法という流体力学の数値計算方法を弾性体力学に応用することで行われている (e.g., Benz and Asphaug 1999)。先行研究では簡略化された標準 SPH 法が用いられているが、乱雑な粒子配置では空間 1 次精度以下であるなどの問題点が存在する。私はこれまでの研究で、ゴドノフ SPH 法 (Inutsuka 2002) と呼ばれる空間 2 次精度の手法を弾性体力学に拡張し、高精度な計算を可能にした (Sugiura and Inutsuka 2016a, JCP 308, 171; 2016b submitted to JCP)。

高解像度の数値計算を行うためには大量の計算要素を扱う必要があり、そのような計算を高速に行うためには計算コードを並列化する必要がある。私は弾性体ゴドノフ SPH 法を用いて高解像度の微惑星衝突計算を行うために、理化学研究所計算科学研究機構 粒子系シミュレータ研究チームが開発した Framework for Developing Particle Simulator (FDPS)(Iwasawa et al. 2015, Iwasawa et al. 2016) を用いる。FDPS は粒子系シミュレーションの計算コードを高効率に並列化するための汎用プラットフォームである。本講演では FDPS を用いて並列化された弾性体ゴドノフ SPH 法による計算の結果を紹介し、並列化効率などについて議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P235a 円盤風によって進化するガス円盤中での固体惑星集積

荻原正博, 小久保英一郎 (国立天文台), 鈴木建 (東京大学)

原始惑星系円盤の表面からは磁気乱流によって駆動される円盤風が流出することが発見されており、これは原始惑星系円盤のガス面密度進化に影響を及ぼすと指摘されている。具体的には、中心星に近い領域からは円盤ガスが円盤風として効率的に流出し、この結果ガス面密度分布は中心星から離れるにつれて増加する傾向になる。最新の研究によると、円盤進化は計算パラメータに依存し、多様な面密度分布を呈することがわかってきている。重要なパラメータの一つは乱流粘性であるが、乱流粘性強度を表す α パラメータが小さい場合 (10^{-4} 程度) には、中心星から 3 au 程度の領域まで面密度のべきが正になり得る。一方乱流粘性が比較的大きい場合 (10^{-2} 程度) には、円盤風の影響がやや弱く、面密度のべきが大きく変化する領域は中心星から 0.3 au 以内と限定的になる。

このような円盤中では、固体惑星の軌道移動 (タイプ I 移動) の様子も従来の描像から変化すると考えられる。本研究では円盤風によって進化するガス円盤中に配置した惑星の軌道進化を数値シミュレーションによって調べた。シミュレーションの結果、 $\alpha \simeq 10^{-2}$ の場合には、幅広い惑星質量範囲でタイプ I 移動が強く抑制されることがわかった。この場合には、従来の惑星形成モデルで問題であった惑星落下問題を解決し得ることを示唆している。一方 $\alpha \simeq 10^{-4}$ の場合には、移動の方向は惑星質量に依存する。例えば、0.3-3 地球質量の惑星は中心星から外向きに移動する傾向があるのに対し、3 地球質量以上の惑星は内向きに移動する傾向があることがわかった。この場合には、固体惑星の軌道進化は従来の惑星形成モデルで採用されているものとは大きく異なることを示している。本講演では、これらの軌道進化の様子を紹介する。また円盤進化の多様性によって、形成する惑星系の分布にどの程度の多様性が生じ得るかについても議論する予定である。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

P236a 衝突成長に伴う 惑星・衛星の組成進化

小林 浩 (名古屋大学), Nicolas Dauphas(シカゴ大学)

太陽系地球型惑星は岩石マントルと金属コアでできており、マントル-コア比はそれぞれの惑星で異なる。一方、木星周りのガリレオ衛星も氷マントルの比率がそれぞれの衛星で異なる。これらの惑星や衛星は中心星(惑星)周りの円盤の中で、小天体が衝突合体してできたと考えられている。衝突成長にともない衝突破壊が起こるが、衝突天体全体を壊すような大規模破壊ではなく、クレータを作るような小規模な破壊の方が高頻度で起こるため惑星や衛星の形成には重要である (Kobayashi et al. 2010)。このような小規模な衝突は、マントルをはぎ取り、コアを残すので天体の組成を変える。中心星に近い方が衝突速度も大きくなるため、はぎ取りの効果が大きくなる。しかし、はぎ取られた部分は破片となり放出され、円盤ガスによる抵抗力で角運動量を失い中心星に向かい落下する。この落下している破片の再集積はマントル成分の比率を大きくする。そのため、マントル成分の比率はこれらを矛盾なく取り入れて計算する必要がある。そのため、本研究では衝突・破壊を考慮して、破片も含めたサイズ分布進化、天体の中心星への落下を取り扱い、惑星や衛星形成のシミュレーションを行った。その結果、衝突により天体がどのように組成進化が得られるようになった。形成される惑星や衛星の組成は、中心星からの距離だけでなく、微惑星のサイズにも依存することがわかった。得られた結果を系外惑星を含む実際の惑星系と比較について議論を行いたい。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P237a 系外惑星の大気透過スペクトルの多様性の解明：ヘイズ粒子の生成・成長・沈降の効果

川島由依, 生駒大洋 (東京大学)

惑星の大気組成は、その惑星の熱進化や形成過程などを考える上で重要である。系外惑星の大気組成の制約は、多波長トランジット観測により行われる。惑星のトランジット時に起きる恒星光度の見かけの減光率は、波長によって異なる。この減光率の波長依存性（これを大気透過スペクトルという）から、惑星大気の組成を制約できる。ところが、最近の多波長トランジット観測により、平坦な、つまり大気分子による吸収の特徴のないスペクトルが検出された。このようなスペクトルから、ヘイズのような粒子が大気中に存在することが示唆された。また、観測された透過スペクトルには、多様性が見られる。あるものは可視域にレイリー散乱の特徴を示し、またあるものは近赤外域に分子や原子の吸収特徴を示している。ヘイズの存在を考慮した大気透過スペクトルモデルに関する先行研究はいくつかあるが、そのどれも、ヘイズ粒子の成長を解いておらず、採用しているヘイズ層のパラメータ（ヘイズ粒子の粒径と数密度、ヘイズ層の高度と厚さ）の値には、物理的な根拠がなかった。

そこで本研究では、トランジット観測がされるような中心星近くに存在する低質量惑星を想定した上で、物理的な根拠を持つ、ヘイズ粒子の分布と典型的なサイズを求めるため、大気中のヘイズ粒子の生成と成長、沈降を考慮した理論モデルを新たに開発した。そして、得られたヘイズの特性を基に、大気透過スペクトルをモデル化した。その結果、ヘイズ粒子はこれまで考えられていたよりも広い範囲で分布すること、また、様々なサイズのヘイズ粒子が大気中で生成されることを発見した。さらに、観測されている透過スペクトルの多様性を、ヘイズ粒子の前駆物質の生成率（中心星から受けるUV強度と関連がある）の違いにより、説明出来ることを示した。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

P238a **ハビタブルゾーンに存在する海惑星の表層環境：高圧氷と炭素循環**

中山陽史, 阿部豊, 小玉貴則 (東京大学)

惑星表面に液体の水を保持できる軌道領域 (ハビタブルゾーン;HZ) は, 地球の様な惑星を想定している [Kasting et al., 1993]. 地球は炭素循環と呼ばれる大気 CO_2 量を決定するメカニズムによって気候が温暖に保たれていると考えられている [Walker et al., 1981]. 一方で, HZ 内に数 wt % の H_2O を持つ地球型惑星の存在が理論的に予測されている [Raymond et al., 2004]. 系外地球型惑星は, 様々な水量を保持していることが予測され, 地球水量を仮定した HZ を直接適用することはできない. よって, 海洋水量が表層環境に与える影響を検討する必要がある.

炭素循環の主要なプロセスとして, 岩石と液体の水の反応である風化作用がある. 風化作用は大陸で生じる大陸風化と海底で生じる海洋底風化が存在する. 全球が海で覆われた海惑星では, 大陸風化が働かない. 加えて, 海洋水量の多い海惑星では, 海底に固体高圧氷が形成される [Leger et al., 2004]. その場合, 海洋底風化さえも遮断され, 大気 CO_2 量は地球に比べて非常に高く, 高温な環境を示すと考えられている [Kitzmann et al., 2015].

しかしながら, 高い熱流量を持つ中央海嶺付近では, 高圧氷が溶融し, 海洋底風化が働く可能性が考えられる. 本研究では, 高圧氷の形成を考慮した炭素循環モデルを用いて高圧氷形成が表層環境に与える影響を調べた. 結果として, 海底全体の中で少なくとも 1 割以上の領域では高圧氷が溶融することがわかった. これは高圧氷が形成されてもなお海洋底風化による大気 CO_2 の除去が行われることを示す. また, 惑星内部から大気への CO_2 供給量によって, 高圧氷が形成されるほど水量の多い海惑星は, 地球の様な温暖な環境ではなく, 高温もしくは全球凍結状態といった 2 極化した表層環境をとることがわかった.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

【Q. 星間現象】

9月14日(水) 午前(11:00-13:00) [D会場]

Q01a	11:00	MAXI/SSCによる銀河中心周辺の拡散X線放射の観測2	中平聡志(宇宙航空研究開発機構)
Q02a	11:12	銀河系核周円盤周辺のHCNサブミリ波輝線イメージング	竹川俊也(慶應義塾大学)
Q03a	11:24	ALMA reveals a hub of filamentary molecular clouds in Sgr B2(N)	Tetsuo Hasegawa (NAOJ)
Q04c		パー効果を考慮した銀河ガス円盤の磁気流体数値実験	町田真美(九州大学)
Q05a	11:36	ALMAによる高速度コンパクト雲CO-0.40-0.22の高分解能イメージング	岡朋治(慶應義塾大学)
Q06a	11:48	銀河系中心50km/s分子雲でのフィラメント構造の同定	上原顕太(東京大学)
Q07a	12:00	高速度コンパクト雲自動同定アルゴリズムの開発と統計的解析	徳山碩斗(慶應義塾大学)
Q08a	12:12	R136に付随する水素原子ガスの観測的研究	柘植紀節(名古屋大学)
Q09a	12:24	FUGINサーベイの結果を利用した鹿児島大学野辺山アンモニアサーベイの現状	半田利弘(鹿児島大学)
Q10b	12:36	巨大分子雲の進化における分子雲衝突の役割	島和宏(北海道大学)
Q11b	12:36	VERAによる銀河系外縁部HII領域IRAS 21306+5540の年周視差計測	手塚大介(鹿児島大学)
Q12b	12:36	銀河系外縁部分子雲衝突の観測的研究-VERAによる距離測定とFCRAO-14mによる分子雲の解析-	小出凧人(鹿児島大学)
Q13b	12:48	ブライトリム分子雲の赤外線の色	伊藤洋一(兵庫県立大学)
Q14b	12:48	星間化学シミュレーションのための疎行列演算手法の開発	本山一隆(総合研究大学院大学)
Q15b	12:48	Kelvin-Helmholtz不安定性による星間雲内部乱流の駆動	岩崎一成(同志社大学)

9月14日(水) 午後(15:00-17:12) [D会場]

Q16a	15:00	Spitzer/IRSスペクトルマッピング観測によって明らかにするM17SW領域におけるPAH物理状態の空間変化	山岸光義(宇宙航空研究開発機構)
Q17a	15:12	ストカスティック加熱モデルに基づくダスト放射コード開発とAKARI FISデータを用いたダストマップ作成	梨本真志(東北大学)
Q18a	15:24	An All-sky Look at the AME: Comparing the new AKARI/IRC Maps With IRAS and Planck Data	Aaron C. Bell (University of Tokyo)
Q19a	15:36	国際宇宙ステーション「きぼう」利用簡易曝露実験装置ExHAMを利用した炭素質ダストの宇宙環境曝露実験(2)	左近樹(東京大学)
Q20a	15:48	近赤外線高分散分光器WINEREDによる微弱なDIBの探査	濱野哲史(京都産業大学)
Q21a	16:00	グリシン前駆体、CH ₂ NHの形成過程	鈴木大輝(総合研究大学院大学)
Q22a	16:12	フェルミバブル周辺における高温プラズマのX線系統探査	秋田誠博(早稲田大学)
Q23a	16:24	X線天文衛星すざくによる銀河系高温ガスハローの空間分布測定	中島真也(宇宙航空研究開発機構)
Q24a	16:36	パルサー星雲における二次フェルミ加速モデル	田中周太(甲南大学)
Q25a	16:48	広がったTeVガンマ線源VER J2019+368のX線観測	田中慎之(広島大学)
Q26a	17:00	フェルミ衛星LAT検出器によるMBM 53,54,55およびPegasus Loop領域の観測	水野恒史(広島大学)

(次頁に続く)

【Q. 星間現象】

9月15日(木) 午前(09:30-11:30) [D会場]

Q27a	09:30	Direct Ejecta Velocity Measurements of Tycho's Supernova Remnant	Toshiki Sato (Tokyo Metropolitan University)
Q28a	09:42	「すざく」によるガンマ線超新星残骸 G298.6-0.0 および G32.8-0.1 の観測	馬場彩 (東京大学)
Q29a	09:54	「すざく」による GeV ガンマ線超新星残骸 HB 21 の X 線観測	鈴木寛大 (東京大学)
Q30a	10:06	「すざく」による超新星残骸 G306.3-0.9 からの鉄 K 輝線の発見	澤田真理 (青山学院大学)
Q31c		特異な構造を持つ超新星残骸 G166.0+4.3 からの過電離プラズマの発見	松村英晃 (京都大学)
Q32a	10:18	X 線天文衛星「すざく」による超新星残骸 W28 の北東部の観測	尾近洸行 (京都大学)
Q33a	10:30	「KWFC」H α 測光観測による超新星残骸 G156.2+5.7 の膨張率測定	勝田哲 (中央大学)
Q34a	10:42	超新星残骸 RCW 86 における TeV ガンマ線の起源	佐野栄俊 (名古屋大学)
Q35a	10:54	超新星残骸 Cassiopeia A に付随する分子雲と原子雲	稲葉哲大 (名古屋大学)
Q36a	11:06	CO, HCO ⁺ 回転遷移輝線による SNR W44 超高速成分の観測的研究 (II)	山田真也 (慶應義塾大学)
Q37a	11:18	スーパーバブル 30 Doradus C に付随するガス雲	山根悠望子 (名古屋大学)

9月15日(木) 午後(13:30-15:42) [D会場]

Q38a	13:30	超新星残骸における宇宙線の垂直衝撃波加速と knee 領域加速問題	高本亮 (東京大学)
Q39a	13:42	衝撃波で加速された宇宙線スペクトルのカットオフの形について	山崎了 (青山学院大学)
Q40a	13:54	超新星残骸 W44 分子雲中に発見された超高速成分の数値流体計算	野村真理子 (慶應義塾大学)
Q41a	14:06	パルサー星雲放射の空間構造	石崎渉 (東京大学)
Q42a	14:18	Molecular clouds toward the Spitzer bubble S150; possible evidence for a second Spitzer bubble formed by cloud-cloud collision	服部有祐 (名古屋大学)
Q43a	14:30	オリオン座分子雲領域におけるダスト進化を考慮した星間水素の精密定量	山本宏昭 (名古屋大学)
Q44a	14:42	全天にわたる中間速度 HI 雲の解析 II	古賀真沙子 (名古屋大学)
Q45a	14:54	ペルセウス分子雲領域におけるダスト進化を考慮した星間水素の精密定量	岡本竜治 (名古屋大学)
Q46a	15:06	電波連続波源による中性水素 21cm スペクトルの光学的深さ測定の問題	福井康雄 (名古屋大学)
Q47a	15:18	21cm 線スペクトルを使った中性水素原子の定量: 数値シミュレーションとの比較 2	早川貴敬 (名古屋大学)
Q48a	15:30	フィラメント状中性水素雲と星間磁場方向の強い相関の起源	井上剛志 (国立天文台)

9月16日(金) 午前(09:30-10:18) [D会場]

Q49a	09:30	NRO 銀河面サーベイプロジェクト (FUGIN): 2015 年度進捗	梅本智文 (国立天文台)
Q50a	09:42	NRO 銀河面サーベイプロジェクト (FUGIN): Spitzer バブル N18 における分子雲衝突と大質量星形成	鳥居和史 (国立天文台)
Q51a	09:54	NRO 銀河面サーベイプロジェクト (FUGIN): 大質量星形成領域 W33 の CO 輝線観測 II	河野樹人 (名古屋大学)
Q52a	10:06	NRO 銀河面サーベイプロジェクト (FUGIN): 超新星残骸に付随する星間ガスに関する研究	栗木美香 (筑波大学)

Q01a MAXI/SSCによる銀河中心周辺の拡散 X 線放射の観測 2

中平聡志 (JAXA), 常深博, 正村陸 (大阪大学), 富田洋 (ISAS/JAXA)

ROSAT 衛星により銀河中心の周辺に見かけ上半径 ~ 60 度の広い領域に渡って 1.5keV より低い X 線で輝く巨大構造が発見された。同様に銀河中心の周辺に大きく広がる構造は複数の波長で見つかっており、電波 (North-Polar Spur, Loop I, II...), マイクロ波 (WMAP Haze), ガンマ線 (Fermi Bubble) が知られている。それらの空間的な分布は一致しておらず、各波長で見られる構造に関連性があるのか、その物理的起源何かといったことは明らかになっていない。

全天 X 線監視装置 (MAXI) に搭載された CCD を用いた観測装置 SSC (Solid-State slit Camera) は、ROSAT よりも高いエネルギー分解能を持ち、「すざく」衛星をはじめとする X 線望遠鏡と比較すると大きな S を持つため、大局的な構造を高エネルギー分解能で調べる事に適している。2016 年春季講演 (中平他; Q03c) では、初期的な先行研究 (木村他; 2013 年春 Q13a) に対して、データ選択や応答関数を改善しバックグラウンドのモデル化を詳細化することで、正確なバックグラウンドの見積もりを実現し、 $0.6\text{-}1.0\text{keV}$ マップでは ROSAT の $3/4\text{keV}$ マップで見られた構造を再現した全天画像を生成する事に成功した。

前回講演で示した結果ではデータの選択条件を厳しく設定し過ぎていたために、十分な光子統計量が得られず物理的起源についての説明が不十分であった。そのため本研究ではデータ選択を更に詳細化することで、データ品質を保ちながら光子統計量を改善した。本講演では SSC の観測で得られた較正済みの疑似カラー全天画像、各構造の積算スペクトルとそのモデル解析結果、拡散 X 線のエミッションメジャー分布を示す。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Q02a 銀河系核周円盤周辺の HCN サブミリ波輝線イメージング

竹川俊也, 岡 朋治, 岩田悠平, 徳山碩斗, 田中邦彦 (慶應義塾大学)

銀河系核周円盤 (circumnuclear disk; CND) は、銀河系中心核 Sgr A* を取り囲む高温 ($T_k > 100$ K) ・高密度 [$n(\text{H}_2) > 10^4 \text{ cm}^{-3}$] な分子ガスリングである。CND の内半径は約 2 pc であり、全体としては中心核に対して非対称的に約 10 pc に渡り広がっている。その外側には 2 つの巨大分子雲 (M-0.02-0.07 および M-0.13-0.08) が隣接し、これらは CND の形成と進化に密接に関わっている可能性がある。我々のグループは、これまで野辺山 45 m 電波望遠鏡や ASTE 10 m 電波望遠鏡を用いて、CND とその周辺の分子輝線観測を行ってきた。これらの観測の結果、CND の西側と M-0.13-0.08 とを繋ぐ構造 (bridge) を発見し、これらが互いに衝突している可能性を見出した (2016 年春季年会 S01b)。このような衝突によりガスの運動エネルギーや角運動量が失われ、中心核への質量供給が促進されると考えられる。

今回、我々は新たに James Clerk Maxwell Telescope (JCMT) を用いて、銀河系中心核周辺に対して HCN $J=3-2$ および $J=4-3$ 輝線による詳細なイメージング観測を行った。観測範囲は、CND、M-0.02-0.07、M-0.13-0.08、そして高速度コンパクト雲 CO-0.02-0.02 を含む $0.15^\circ \times 0.12^\circ$ の領域である。その結果、HCN $J=3-2$ 、 $J=4-3$ 両輝線で bridge の存在が確認でき、CND と bridge との接点で HCN $J=4-3$ /HCN $J=3-2$ 輝線強度比が特に高くなっていることがわかった。これは温度および密度上昇に起因する可能性が高く、CND と M-0.13-0.08 が衝突しているというシナリオを支持するものである。本講演では、この JCMT による最新の観測結果を報告し、銀河系中心核近傍での分子ガスの運動や物理状態について議論する。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

Q03a **ALMA reveals a hub of filamentary molecular clouds in Sgr B2(N)**

Tetsuo Hasegawa (NAOJ), Aya Higuchi (RIKEN), Kazuya Saigo (Osaka Pref Univ), Patricio Sanhueza (NAOJ), James Chibueze (Univ of Nigeria)

We present C¹⁸O (1–0) images of Sgr B2(N), a region of massive star formation, by analyzing the archival ALMA data used by Higuchi et al. (2015, ApJ 815, 106). The synthesized beam is 1.6'' × 1.2'' (0.06 pc × 0.05 pc at the distance of 7.8 kpc). The massive dense core of Sgr B2(N) is resolved into a hub of filamentary molecular clouds. The typical width and column density of the filaments are 0.08 pc and $5 \times 10^{22} \text{ cm}^{-2}$, respectively (beamwidth uncorrected), which correspond to the typical line mass of $60 M_{\odot}/\text{pc}$ for the filaments (assuming optically thin C¹⁸O (1–0) emission at $T_{ex} = 50 \text{ K}$, $[\text{C}^{18}\text{O}]/[\text{H}_2] = 1 \times 10^{-7}$). The hub is centered at the position of the compact continuum source K2, the center of the system of a rotating core and a massive bipolar outflow reported by Higuchi et al. (2015). The filaments exhibit the general velocity gradient from east to west consistent with the steep velocity structure noted by Hasegawa et al. (1994, ApJL 429, L77) as evidence of a cloud collision. We discuss possible formation mechanisms of the massive dense core with the observed filamentary structure.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Q04c バー効果を考慮した銀河ガス円盤の磁気流体数値実験

町田真美 (九大)、中村賢仁 (九産大)、松元亮治 (千葉大)

天の川銀河における銀河中心近傍の一酸化炭素ガスの位置-速度図は特徴的な平行四辺形構造をとることが知られている。この平行四辺形構造の形成モデルとして、バルジ内の天体が作るバーポテンシャルが考えられている。また、銀河は平均すると数 μG の磁場があると考えられているが、銀河中心領域は $100\mu\text{G}$ 以上の強磁場であることが示唆されている。このような強磁場があることを踏まえ、鈴木ら (2015) では、銀河中心領域の位置 - 速度図の構造は、銀河ガス円盤中で発達する磁気乱流を起源とする角運動量輸送でも説明できる事を示した。一方、町田ら (2013) の軸対称ポテンシャルを仮定した数値計算結果に基づく天の川銀河の回転量度分布は、大局的な回転量度分布を定性的に説明できるが、偏波角は観測とはずれる事が示された (町田ら 2016 年春季年会)。この結果は、天の川銀河の中心から 3kpc にわたるバー構造は磁場の観測量に大きな影響を与える事を示唆している。そこで、本研究では、天の川銀河のバーポテンシャルの効果を考慮した磁気流体数値計算を行い、バー構造の有無による大局的な磁場構造の違いなどについて調べた。その結果、バーポテンシャルがある場合には、質量降着率が増大する事、渦状構造が形成されやすい事、渦状構造では衝撃波が形成される場合がある事などがわかった。本発表では、その他磁場の飽和値に対する依存性などについても議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Q05a ALMA による高速度コンパクト雲 CO-0.40-0.22 の高分解能イメージング

岡 朋治、竹川俊也、山田真也、岩田悠平、徳山碩斗（慶應義塾大学）

Central Molecular Zone (CMZ) と呼ばれる銀河系の中心から数百パーセクの領域は、無数の星と高温高密度の星間物質が集中する特異な領域である。その中に多数発見された「高速度コンパクト雲 (HVCC)」は、一般に広い速度幅を有する CMZ 内においても際だって広い速度幅 ($\Delta V > 50 \text{ km s}^{-1}$) とコンパクトな空間構造 ($d < 10 \text{ pc}$) を持ち、その起源は未だ解明されていない。その多くは高い励起状態を呈し、衝撃波起源の分子や膨張シェル構造を伴うものもある事から、それぞれ単発または複数の超新星爆発に伴う構造である可能性が示唆されていた。

Sgr C 領域に位置する HVCC CO-0.40-0.22 は、これまでに発見された HVCC の中でも特に速度幅が広く ($\Delta V \sim 100 \text{ km s}^{-1}$)、特に高い CO $J=3-2/J=1-0$ 輝線強度比を呈する事で知られている。ASTE による CO $J=3-2$ 輝線データに見られる空間速度構造は、微かな速度勾配の気配以外には特徴が無く、爆発起源に特徴的な膨張シェル構造も見られない。これまで私たちのグループでは、複数の単一鏡電波望遠鏡を用いて CO-0.40-0.22 に対する分子スペクトル線観測を展開してきた。その結果に基づき、位置-速度空間における CO-0.40-0.22 に特徴的な挙動が、 10^5 太陽質量の点状天体による分子雲の重力散乱によって説明出来ることを示した（岡他、日本天文学会 2015 年春季年会 Q36a）。

今回、我々は ALMA cycle 1 において CO $J=2-1$ および HCN $J=3-2$ 輝線による CO-0.40-0.22 のイメージング観測を行ったので、ここにその解析結果を報告する。観測した両輝線において、顕著な CO-0.40-0.22 からの放射を検出した。特に HCN $J=3-2$ 輝線では、CO-0.40-0.22 中心付近において、単一鏡で見えていた速度範囲を有意に超える $5''$ 程度のコンパクトな成分を両速度端に検出した。この事は、この天体が点状重力源による重力散乱に起因する構造であるとする我々の仮説をサポートするものである。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

Q06a 銀河系中心 50km/s 分子雲でのフィラメント構造の同定

上原顕太 (東京大学), 坪井昌人, 北村良実 (ISAS/JAXA), 宮脇亮介 (桜美林大学), 宮崎敦史 (NAOJ/JSF)

赤外線天文衛星 Herschel 宇宙望遠鏡の銀河系円盤領域におけるサーベイ観測により, 多くの分子雲でフィラメント状構造が発見された. この観測結果から, 円盤領域では星生成の母体となる分子雲が普遍的にフィラメントの形態で存在しており, フィラメントの幅は星形成の有無やその柱密度 (フィラメントごとに3桁程度の差がある) に関係なく $\sim 0.1\text{pc}$ 程度であることが明らかになった. さらに, 柱密度が $\sim 10^{22}\text{cm}^{-2}$ より大きい領域に, 原始星や高密度分子雲コアが存在していることが明らかとなり, 円盤領域ではフィラメントの密度と星形成には密接な関係があることが分かってきている. 一方, 銀河系中心領域の CMZ では, これまでフィラメント状の構造は1例見つかっていたが, 普遍的な存在かは明らかではなかった. そこで, 我々は ALMA 望遠鏡による高空間分解能・高感度の CS($J=2-1$) 輝線の観測 (2012.1.00080.S, PI M.Tsuboi) を行ない, 多くのフィラメント状構造を 50km/s 分子雲で発見した. CMZ は円盤領域に比べ速度幅が広く, 高密度で高い温度 ($15-50\text{km/s}$, 10^3cm^{-3} , $\sim 10^{1-2}\text{K}$) を持っており性質が大きく異なるが, 今回の観測から銀河系中心領域の分子雲の中にも, 銀河系円盤領域の分子雲と同様にフィラメント状構造が普遍的に存在していることを明らかにした. 今回, 初めて銀河系中心領域で DisPerSE アルゴリズムを用いたフィラメントの同定を行なった. その結果, 28本の分子雲フィラメントを同定することが出来た. これらのフィラメントに対して幅, 柱密度, 単位長さあたりの質量を見積もったところ, それぞれ $0.19-0.40\text{pc}$, $2 \times 10^{22-23}\text{cm}^{-2}$, $\sim 1 \times 10^2 - 1.6 \times 10^3 M_{\odot}/\text{pc}$ と求まった. 幅は円盤部に比べ3倍程度大きい, 幅と柱密度の関係を円盤領域と比較したところ, 同じ冪乗則で記述できる可能性が出てきた.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Q07a 高速度コンパクト雲自動同定アルゴリズムの開発と統計的解析

徳山碩斗, 岡 朋治, 竹川俊也, 山田真也, 岩田悠平, 辻本志保, 古澤舞子 (慶應義塾大学)

銀河系中心から半径 200 pc 以内の領域は中心分子層 (Central Molecular Zone; CMZ) と呼ばれ、その領域に集中する分子雲は銀河系円盤部のものと比較して高温・高密度・広速度分散という特異性を持つ。しかしながらその特異性の原因は未だ解明されていない。CMZ の特異性解明の鍵を握る天体として、高速度コンパクト雲 (High-Velocity Compact Cloud; HVCC) の存在がある。HVCC はその名の通り空間的にコンパクトかつ広い速度幅を持つ 特異的な分子雲であり、それぞれが度重なる超新星爆発または巨大な重力源に起因する構造と解釈されている。HVCC の同定方法として、永井 (2008) の開発した半自動アルゴリズムによる方法があるが、巨大なデータセットに対しては膨大な労力を要するという問題が残されていた。今回我々はこの問題を解決すべく、HVCC の完全な自動同定アルゴリズムの開発を行った。このアルゴリズムは、(1) pressing method、(2) unsharp mask、(3) modified CLUMPFIND の 3 つの手順からなる。まず pressing method により銀河系円盤部にあるガスによる放射・吸収の影響を軽減させる。つぎに unsharp mask で空間的にコンパクトかつ速度幅が広い成分を強調する。最後に modified CLUMPFIND を用いて HVCC 候補天体を同定する。また、永井 (2008) で用いた $^{12}\text{CO}(J=1-0)$ データは空間情報が完全ではなかったため、我々は新たに野辺山 45 m 電波望遠鏡を用いて同輝線の Nyquist サンプリングによる OTF マッピング観測を行った。これにより、今まで見落とされていた、より空間的にコンパクトな HVCC を多数発見できることが期待される。実際、新しく取得したデータに今回開発した自動同定アルゴリズムを適用することにより 116 個の HVCC 候補天体を同定することに成功した。本講演では、今回開発した自動同定アルゴリズムの詳細と HVCC 候補天体の統計的解析の結果を報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Q08a R136 に付随する水素原子ガスの観測的研究

柘植紀節、佐野栄俊、山本宏昭、立原研悟、福井康雄（名古屋大学）、戸次賢治（ICRAR/西オーストラリア大学）、千葉柁司（東北大学）

1 pc^3 に 10^4 個以上の大質量星を含む大規模星団 (Super Star Cluster: SSC) は重元素の供給や、紫外線放射による星間ガスの電離を引き起こし、周囲の環境に多大な影響を与える。よって、その形成過程を探ることは銀河の進化をはじめ、宇宙の構造形成を解明する上で重要である。しかし、その形成過程は明らかになっていない。

R136 は大マゼラン雲 (LMC) に含まれる SSC である。この天体は局部銀河群の中で最も重い巨大星団で太陽の 10^5 倍もの質量を持つ。これは天の川銀河に存在する SSC の質量より 1 桁大きい。また、非常に明るい HII 領域が付随しており太陽質量の 200 倍を超える大質量星が存在する (Crowther et al. 2010)。このような特徴から、R136 の形成過程を明らかにすることは球状星団の形成過程の理解にもつながると考えられ意義深い。さらに LMC は天の川銀河から最も近い距離 (50 kpc) に存在する銀河であるため、より正確に物理量を定量できるという利点もある。

本研究では R136 について ATCA & Parkes (Kim et al. 2003) によって得られた HI データを解析し、2 つの異なる速度を持つ原子ガスと、2 つの速度成分をつなぐ速度成分の存在を明らかにした。この 2 成分は Luks & Rohlfs (1992), Mizuno et al. (2001) で同定された L,D コンポーネントに対応する。また、HI データと NANTEN (Fukui et al. 2008) による CO のデータ、星団の位置との比較を行った。本講演ではこれらの結果を踏まえて、水素原子ガス同士衝突が大質量星団の形成に寄与している可能性を議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Q09a **FUGIN サーベイの結果を利用した鹿児島大学野辺山アンモニアサーベイの現状**

半田利弘, 面高俊宏, 水窪耕兵, 上杉正裕, 永野将之 (鹿児島大学), James Chibueze(ナイジェリア大学), 永山匠, 梅本智文, 南谷哲宏 (国立天文台), 久野成夫 (筑波大学), FUGIN チーム

NH₃ 分子は様々な輝線を発する分子で、その強度比から種々の物理量を知ることができる。そこで、我々は、数年前より、野辺山 45m 電波望遠鏡を用いて天の川銀河内の分子雲コアに対する NH₃ 輝線サーベイ観測を行っている。1つの分子雲中での温度分布などを手がかりに分子雲中での星形成を明らかにすることが最終的な目標である。その成果として、NGC7000 や Monkey Head Nebula では、誘発的星形成は起こっていても、従来から言われていた連鎖的星形成とは矛盾する観測結果をしめすことで、これとは大きく異なる描像を示してきた (例えば、Chibueze et al. 2013)。この描像を確立するため、国立天文台野辺山 45m 鏡による観測を、バックアップ共同利用観測としてここ数年間にわたって実施している。これまでは既知の著名天体についてマッピング観測を行ってきたが、昨シーズンより、FUGIN サーベイの C¹⁸O 結果を参考に同定した分子雲コア観測を開始した。今シーズンは FUGIN サーベイ観測で得られた C¹⁸O のマップから 22 天体を選出して観測した。うち、18 天体はピーク 1 点のみを観測して、いずれもアンモニア輝線の検出に成功した。残り 3 天体についてはマッピング観測を行い、それぞれ、9 点、51 点、12 点の観測を行った。いずれの天体も、これまで NH₃ 輝線によるマッピング観測が行われていない天体である。51 点と最も広い範囲で観測を行ったのは、 $(l, b) = (14.47^\circ, -0.11^\circ)$ にある電離水素領域に付随する分子雲である。講演では、この天体の観測結果を中心にサーベイ観測の結果を報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Q10b 巨大分子雲の進化における分子雲衝突の役割

島和宏, Eliabeth J.Tasker, 羽部朝男 (北海道大学)

大質量星や大質量星団の形成要因として分子雲衝突による衝撃波圧縮が注目されている。分子雲衝突による大質量星形成は分子雲の星形成率や銀河の進化に影響するため、その役割を明らかにすることが重要である。われわれのグループでは、理想化された環境で2つの分子雲を衝突させるシミュレーションを行ってきた。しかし、Molecular Cloud Complexes(MCCs) もしくは Giant Molecular Association(GMA) と呼ばれる領域 (質量 $\sim 10^6 - 10^7 M_{\odot}$ 、サイズ > 50 pc) では、より複雑な分子雲衝突が予想される。このような系で分子雲衝突が果たす役割を明らかにする目的で新たなシミュレーションを行った。われわれのシミュレーションの特徴は、銀河ディスクのシミュレーション (Box Size = 32 kpc、 $\Delta x_{min} \sim 0.1$ pc) の結果を初期条件として使用していることである。銀河回転のシアによって形成された巨大分子雲で MCCs に相当する領域のデータを取り出し、それを新たな初期条件 (Box Size = 250 pc、 $\Delta x_{min} \sim 0.03$ pc) として分子雲コアの進化を計算する。分子雲衝突の頻度と分子雲コアの質量関数や分子雲コアの形成率との関係を議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Q11b **VERA による銀河系外縁部 HII 領域 IRAS 21306+5540 の年周視差計測**

手塚大介, 中西裕之, 松尾光洋, 小出凧人 (鹿児島大学), 坂井伸行 (国立天文台), 倉山智春 (帝京科学大学)

本発表では、VERA の ORC (Outer Rotation Curve) プロジェクトの観測天体の一つである IRAS 21306+5540 の年周視差計測結果について報告する。当プロジェクトでは、国内 VLBI 観測システム VERA を用いて銀河系外縁部天体の年周視差計測を進めており (Sakai et al. 2012, Nakanishi et al. 2015, Sakai et al. 2015)、未だ不定性の大きい外縁部の回転曲線を詳細に得ることを目指している。

IRAS 21306+5540 (=S128N) は $(l, b) = (97^\circ.53, +3^\circ.18)$ に位置する ultra compact HII region であり、大質量星形成領域である Sh 2-128 (=G97.5+3.18) の 60" 北方に位置している。内部から 22GHz H₂O メーザーの検出が確認されており (Haschick & Ho 1985)、さらに CO($J = 2 - 1$) (Kim et al. 2015) や 6.7GHz CH₃OH メーザー (Xu et al. 2008) なども検出されている。

VERA による 2012 年から 2014 年までのモニター観測と AIPS によるデータリダクションによって、年周視差が $\pi = 0.154 \pm 0.032$ [mas] と求まった。さらに天体までの距離が $D = 6.49_{-1.12}^{+1.71}$ [kpc]、銀河中心からの距離が $R = 10.97 \pm 1.23$ [kpc] と求まり、銀河系内における 3次元速度が $(V_R, V_\theta, V_z) = (8.82 \pm 31.50, 222.52 \pm 26.79, 5.34 \pm 0.78)$ [km s⁻¹] と導出された。また天体の内部運動を求めたところ、各メーザーフィーチャーが放射状に膨張している様子が明らかになった。最後に、得られた距離を用いて天体の内部に位置すると思われる YSO の bolometric luminosity を計算すると $(7.69 \pm 0.34) \times 10^4 L_\odot$ という値が得られ、これは YSO のスペクトル型 O7.5-O8 に相当しており過去の先行研究と一致していることが明らかになった。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Q12b 銀河系外縁部分子雲衝突の観測的研究 –VERA による距離測定とFCRAO-14m による分子雲の解析–

小出凧人, 中西裕之, 松尾光洋, 手塚大介 (鹿児島大学), 羽部朝男 (北海道大学), 坂井伸行 (国立天文台), 倉山智春 (帝京科学大学)

IRAS 01123+6430 は銀河系外縁部に属する H_2O メーザーを放射する大質量星形成領域の一つである。この天体には分子雲が付随 (Wouterloot et al. 1993; Heyer et al. 1998) しており、アメリカの5大学が設立したミリ波望遠鏡”Five College Radio Astronomical Observatory (FCRAO)-14m”の $^{12}\text{CO}(J=1-0)$ 輝線サーベイデータを調べたところ、弧状成分と直線状成分を持った、分子雲衝突の痕跡を示す形状の分子雲が確認された。この分子雲を特徴付けるために、VLBI Exploration of Radio Astrometry (VERA) による年周視差測定で求めた距離 $7.64_{-0.80}^{+1.02}$ kpc と視直径を使ってサイズを ~ 40 pc、FCRAO-14m で観測された光度を用いて光度-質量変換の式から質量を $2.0 \times 10^4 M_{\odot}$ と見積もった。VERA と FCRAO-14m の観測結果を基に、大型分子雲に小型分子雲を衝突させた後の形状を示す分子雲衝突モデル (Takahira et al. 2014) との比較を行った。その結果、弧状成分は大型分子雲に小型分子雲が衝突した後に形成される衝撃波面を示し、直線状成分は小型分子雲が通過した後に生じた成分が圧縮しながら弧状成分の方へ運動しているものだと分かった。また、比較に使用したモデルの衝突速度を調べたところ、衝突速度の遅い分子雲衝突ほど直線状成分が形成されやすいことが分かった。このことから、IRAS 01123+6430 は比較的遅い分子雲衝突により星形成が起こったと考えられる。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Q13b ブライトリム分子雲の赤外線の色

伊藤洋一 (兵庫県立大学)

大質量星は多量の紫外線や強い星風を出す。これらが近傍の分子雲を圧縮し、次世代の星の形成を促すことがある。一方で、大質量星からの紫外線は分子雲を破壊し、星形成を阻害する要因にもなりうる。紫外線を受けたダストはPAHの輝線を放射することが知られている。Li & Draine (2001) は、数値計算によりPAHを含んだダストが示す赤外線の色を求めた。その結果、PAHの輝線を含む場合、スピッツァー宇宙望遠鏡の近赤外線カメラ IRAC の色が特徴的になることを示した。

そこで我々は、IRAC のアーカイブデータを用いて星雲の色を調査した。まず、中心が紫外線を強く放射するほど高温ではないと考えられる低質量 YSO の L1527 について調べた。付随する星雲の色は、PAH の輝線放射がなく、星間物質に深く埋もれた反射星雲の色と一致した。星雲の最も濃い部分は A_V で 100 等を超えると考えられる。次に、IC1848 領域にあるブライトリム分子雲と周囲の分子雲を調べた。ブライトリム分子雲は HII 領域と分子雲の境界面が視線方向にあるため、紫外線による分子雲の圧縮・破壊過程を詳細に観測できる。解析の結果、IRAC の色は PAH の輝線放射が強い場合に一致した。また、領域によって色がわずかに異なることもわかった。

講演では IRAC の色が示すダストの性質、すなわちダストの直径と PAH の含有率などについて言及し、分子雲の圧縮・破壊過程について議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Q14b 星間化学シミュレーションのための疎行列演算手法の開発

本山一隆 (総合研究大学院大学), 合田憲人, 坂根栄作 (国立情報学研究所)

星間ガスの中では、生命の誕生に関わるような有機分子を含め、様々な分子が生成されていることが明らかになってきている。大規模な化学反応ネットワークを解く星間化学シミュレーションの高速化は、星間ガス中での化学進化を明らかにする研究を行ううえで重要な課題となっている。星間化学シミュレーションを高速化するため、我々は新しいアルゴリズムの研究開発を行った。

従来の星間化学シミュレーションでは、並列化が不可能なアルゴリズムが用いられてきたが、我々は疎行列演算を使ったアルゴリズムに書き直すことで並列化を可能とした。我々の開発したアルゴリズムでは、計算性能が疎行列演算の効率に大きく依存する。近年のCPUでは、一度の命令で複数の演算を実行するSIMD(Single Instruction Multiple Data) 演算をどれだけ有効に利用できるかが性能向上の鍵となっている。星間化学シミュレーションにおいてSIMD 演算を最も有効に活用できる演算手法を明らかにするため、Coordinates Storage(COO) 形式、Compressed Column Storage(CCS) 形式、Compressed Row Storage(CRS) 形式の3つの疎行列演算手法について、性能比較実験を行った。比較実験の結果、CRS形式を用いた場合が最も性能が高いことを明らかにした。SIMD幅が大きいCPUではより顕著に性能の向上が見られ、従来の計算手法に比べて計算時間を半分以下にまで減らすことができた。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Q15b Kelvin-Helmholtz 不安定性による星間雲内部乱流の駆動

岩崎一成 (同志社大学)

星間媒質は、低温で高密度な Cold Neutral Medium(星間雲, CNM) と高温で低密度な Warm Neutral Medium (WNM) が圧力平衡の下に共存する二相流体として特徴づけられる。星間媒質は普遍的に乱流状態として観測される。有力な乱流駆動メカニズムの一つは、衝撃波圧縮によって引き起こされる熱的不安定性である (Koyama & Inutsuka 2002)。熱的不安定性により生成された星間雲が、周囲の希薄な WNM の中を超音速で飛び回る。これまでの研究では星間雲自体の運動が主に議論されてきたが、個々の星間雲内部の乱流に関してはまだ理解が進んでいない。

本研究では、星間雲内部の乱流駆動のメカニズムとして、星間雲と WNM のあいだに生じるシアーが引き起こす Kelvin-Helmholtz 不安定性に注目し、熱過程を考慮した3次元流体シミュレーションをおこなった。今回は簡単のため磁場の効果を見捨てる。初期条件として、簡単のために板状の星間雲を WNM で挟んだうえで WNM にのみ CNM の面に平行な速度を与えた。CNM の板に垂直な方向を z 軸とする。計算の結果、WNM から星間雲への z 軸に沿った降着流が生じ、それに伴う相転移が乱流の駆動に重要な役割を果たすことがわかった。また、星間雲の z 方向の速度分散は、WNM の z 方向の速度分散の約10%の大きさとなり、星間雲内部で高い効率で乱流が駆動される。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Q16a **Spitzer/IRS スペクトルマッピング観測によって明らかにする M17SW 領域における PAH 物理状態の空間変化**

山岸光義 (ISAS/JAXA), 金田英宏, 石原大助, 大藪進喜, 鈴木仁研 (名古屋大), 尾中敬 (東京大), 永山貴宏 (鹿児島大), 梅本智文, 南谷哲宏 (国立天文台), 西村淳 (名古屋大), 松尾光洋 (鹿児島大), 藤田真司 (筑波大), 津田裕也 (明星大), 河野樹人 (名古屋大), 大橋聡史 (東京大)

PAH(多環芳香族炭化水素)は、中間赤外線帯に複数の強い放射フィーチャー(波長7.7, 11.3 μm など)を持つ。それらはC-HもしくはC-Cの振動モードに対応しており、FUV(6-13.6 eV)光子によって励起されることから、PAHはPDR領域の代表的な放射であると考えられている。これまでの研究では、PAHフィーチャー間の強度比は、電離度や内部構造など、PAHの状態を表す良い指標となることが調べられている。PAHの状態は、1つの領域内でも周囲からの影響を受けて、空間変化していると期待される。これを詳しく調べるためには、星形成領域を分光観測によって空間分解する必要があるが、そのような研究は、これまで十分に行われてきていない。

我々は、銀河系内の大質量星形成領域 M17SW に対して行われた、Spitzer/IRS スペクトルマッピングデータ(波長5-15 μm 、領域サイズ $2' \times 2'$)、およびIRSF Br γ マップ、野辺山45m FUGIN レガシーサーベイ ^{13}CO マップを解析し、PAH物理状態の空間変化と周囲の星間環境を調べた。その結果、PAHはBr γ と ^{13}CO で明るい領域の中間で強く放射していることがわかった。この結果は、PAHがPDR領域の良い指標であることをサポートする。さらに、PAH電離度に対応すると考えられるPAH7.7 μm /PAH11.3 μm 比は、M17内に存在するOB型星からの距離には依存せず、局所的に変化しており、そのピークは ^{13}CO のピークの近くにあることがわかった。本講演では、これらの結果をもとに、星形成活動が周囲のPAHに与える影響を議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Q17a **ストカスティック加熱モデルに基づくダスト放射コード開発と AKARI FIS データを用いたダストマップ作成**

梨本真志（東北大学）, 下西隆（東北大学）, 服部誠（東北大学）, 土井靖生（東京大学）, 大坪貴文（東京大学）

2014年, 原始重力波起源である宇宙マイクロ波背景放射 (CMB) Bモード偏光が BICEP2 によって発見されたと報告されたが, 発見されたミリ波偏光信号はダストに起因すると決着付けられた。この事実が示すように, 原始重力波起源の Bモード偏光はダスト放射に埋もれているため, 微弱な信号を検出するためには全天ダスト放射マップを改良することが必要である。本研究の目的は, 物理モデルを用いた銀河系内ダスト放射に AKARI データをフィッティングし, ダスト放射マップを改訂することである。

星間ダストは星間輻射場 (ISRF) からの光子を吸収することで加熱し, 熱放射によって冷却する。大きいダストは光子の吸収間隔が冷却時間と比べ短いため, 熱平衡状態に達すると考えられる。一方小さいダストは熱平衡から大きくズレが生じる。そのため, あるエネルギーを持った光子がいつダストに吸収されるかについて, ストカスティックに取り扱わねばならない。本研究ではダストが光子を吸収する過程を追うモンテカルロシミュレーションコードを開発し, 全ダストサイズに対して一様な方法でダスト温度の時間発展を求め, 放射スペクトルを計算した。長波長側のダストの吸収係数は波長の冪乗則で与えているが, 計算したダスト放射の長波長側は単純な冪乗則ではなく, わずかに冪乗則からズレが生じるという結果が得られた。またダスト柱密度と ISRF 強度の全天分布を得るために, 求めたダスト放射スペクトルを AKARI FIS データにフィッティングした。本発表では, 計算手法と得られたスペクトル, 及びフィッティング結果を説明する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Q18a **An All-sky Look at the AME: Comparing the new AKARI/IRC Maps With IRAS and Planck Data**

Aaron Bell, Takashi Onaka, Ronin Wu (U. Tokyo), Frederic Galliano (CEA), Daisuke Ishihara, Hidehiro Kaneda (Nagoya U.), Yasuo Doi, Takafumi Ohtsubo (U. Tokyo), Martin Giard (IRAP)

The anomalous microwave emission (AME) continues mystify those studying dust at both the infrared wavelengths, and on into the microwave domain. What physical mechanism/s produce this strongly dust-correlated foreground to pervade in the microwave domain? While we are not able to answer this question yet, we do provide evidence against one of the popular hypotheses: electric dipole emission from spinning polycyclic aromatic hydrocarbon molecules (PAHs). The AKARI space telescope, during its lifetime up until the cryogen depletion, contributed a wealth of data across the whole sky. We focus on the Infrared Camera (IRC) all-sky maps, centered at 9 and 18 μm , which are in the community data-verification phase. The 9 μm band offers a unique band-shape, and coverage of several major unidentified infrared band (UIR) features, otherwise called “the PAH features”. We have undertaken a comparison of the AKARI 9 μm data, as well as the other 6 AKARI all-sky maps, with the AME map released by the Planck Collaboration. 1-degree-scale aperture photometry, we demonstrate that there is a correlation between estimates of PAH abundance and AME at these angular scales, for low galactic latitudes. However, there is also a clear correlation with thermal dust emission. We investigate the AKARI/IRC data quality relative to the IRAS and Planck all-sky maps.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Q19a 国際宇宙ステーション「きぼう」利用 簡易曝露実験装置 ExHAM を利用した炭素質ダストの宇宙環境曝露実験 (2)

左近 樹, 尾中 敬 (東京大学), 木村誠二 (電気通信大学), 木村勇氣 (北海道大学), 中村正人 (日本大学), 市村 淳 (ISAS/JAXA), 小川奈々子, 大河内直彦 (JAMSTEC), 稲富裕光 (ISAS/JAXA), 和田節子

宇宙空間の固体微粒子 (ダスト) は、恒星内部での元素核合成の結果、星の終焉とともにまき散らされる重元素を原材料として、主として星周空間で形成されると考えられている。そうした星周ダストは、星周環境を離れ星周空間に到達する過程で様々な変性を経験し、やがて星間ダストとして銀河の星間物質の構成メンバーとなる。天文学的な興味から、そうしたダストを実験室で合成し、その性質を探る研究が成されて来たが、依然として実験室で扱える事が出来るダストと宇宙空間に存在するダストとのリンクは不十分である。QCC プロジェクトは、ISS きぼう実験棟簡易曝露実験装置を利用し、実験室で合成したダストを含む 40 種以上のダスト試料を約一年間宇宙環境に曝露し、試料が被る物質変成を探る実証研究である。2015 年 5 月 26 日より曝露を開始した試料は、約 1 年間の宇宙曝露を完了し、2016 年 6 月 13 日 (日本時間) にエアロック内に回収し、地上帰還回収にむけた準備と、分析体制の整備を行っている。また、新たに、重水素や窒素を含有する急冷炭素質物質を主要な実験試料に含む実験供試体を 2016 年 4 月 8 日 (日本時間) に、米国スペース X 社の「ドラゴン」補給船運用 8 号機で宇宙ステーションへ打ち上げ、2016 年 6 月より宇宙曝露の開始に向けた準備を進めている。本講演では、実験試料の現状とプロジェクトの進捗を報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Q20a 近赤外線高分散分光器 WINERED による微弱な DIB の探査

濱野哲史, 河北秀世, 竹中慶一, 池田優二, 近藤莊平, 鮫島寛明, 福江慧, 新井彰, 大坪翔悟, 渡瀬彩華 (京都産業大学), 小林尚人, 松永典之, 水本岬希 (東京大学), 安井千香子, 泉奈都子 (国立天文台)

星間ガス雲背景星の可視光・近赤外スペクトル上に検出される吸収バンド “diffuse interstellar bands” (DIB) は、有機分子による電子遷移であると考えられているが、その正体はまだほとんど分かっていない。われわれは吸収物質 (キャリア) 同定への手がかりを得るべく、神山天文台の荒木 1.3m 望遠鏡に搭載されている近赤外高分散分光器「WINERED」を用いた「赤外線 DIB」の観測的研究を推進している。赤外線を用いる事で、従来の可視光観測では観測されなかったダストに覆われた多様な環境で DIB の性質を調べることが可能となる。また近赤外波長域には、DIB キャリアの有力候補であるフラレーンや多環芳香族炭化水素 (PAHs) のような重要な分子のイオンによる吸収バンドが検出されると考えられており、2015 年には $\sim 0.96\mu\text{m}$ に位置する DIBs がイオン化したフラレーン (C_{60}^+) による吸収であると同定されている (Campbell et al. 2015)。本年会では、WINERED を用いた微弱な DIBs の探査について報告する。候補分子の実験室スペクトルとの比較からキャリア同定を行う際、微弱な DIBs まで網羅的に検出する事が必要不可欠である。WINERED の高い波長分解能 ($R=28,000$) と感度を活かす事で、微弱な赤外線 DIB の検出が初めて可能になった。天文学会 2015 年春期年会 (講演:Q21a) で 15 本の DIB の新検出について報告したが (Hamano et al. 2015, ApJ, 800, 137)、解析手法の改良および強い DIB が期待される減光量の大きい星の高 S/N スペクトルを取得する事により、約 40 本程度の微弱な DIB を新たに検出する事に成功した。講演では、新たに検出された赤外線 DIB の性質やそのキャリア候補の分子について議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Q21a グリシン前駆体、 CH_2NH の形成過程

鈴木大輝 (総合研究大学院大学), 大石雅寿 (国立天文台), 齋藤正雄 (国立天文台), 廣田朋也 (国立天文台), Liton Majumdar (Bordeaux University), Valentine Wakelam (Bordeaux University)

初期の地球では、有機分子の化学進化が生命を育んだ可能性がある。Ehrenfreund et al. (2002) は初期の地球には彗星により宇宙から大量の有機分子が運搬されたと主張している。実際に太陽系内の彗星から、もっとも単純なアミノ酸であるグリシンが検出されており、太陽系外でも、大型干渉計 ALMA によって星間空間でのグリシンの初検出が期待されている。

一方でグリシンをはじめ窒素含有分子が星間空間でどのようにつくられるかはあまり理解されていない。Kim & Kaiser (2008) は星間塵を模した実験室実験で CH_3NH_2 と CO_2 が UV を照射のもとで反応してグリシンが形成されることを示唆した。一方 Thule et al. (2011) では、HCN に対する水素付加反応によって CH_2NH を経て CH_3NH_2 が作られると主張した。そこで国立天文台の研究グループにより CH_2NH や CH_3NH_2 の観測が進められてきた。(Suzuki et al. (2016), Ohishi et al. (2016) in prep)

一方で、観測された CH_2NH の形成方法は明らかにされていなかった。そこで、KIDA のデータを利用した化学反応ネットワークシミュレーションにより観測された CH_2NH の生成過程を調査した。その結果、塵表面での水素付加反応は非常に早く進むので、HCN や CH_2NH はほとんど CH_3NH_2 になることが示唆された。 CH_2NH の起源は予想されていたような塵表面からの蒸発過程よりも気相反応が重要であるといえる。さらに、気相・固相の反応について CH_2NH の生成率を比較したところ、 CH_2NH の生成反応は気相におけるラジカル同士の反応 ($\text{NH} + \text{CH}_3$) が主要であることが分かった。講演ではこれらの結果を報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Q22a フェルミバブル周辺における高温プラズマの X 線系統探査

秋田誠博, 片岡淳 (早大理工), 戸谷友則, 祖父江義明 (東大理), 井上芳幸, 中島真也 (ISAS/JAXA)

フェルミ・ガンマ線宇宙望遠鏡の観測により、銀河面から垂直方向へと南北 50 度にもおよぶ巨大泡状構造“フェルミバブル”が発見された。バブルの謎は数多いが、中でもその成因は、天の川銀河中心の過去の活動性の立証にも繋がる重要な問題であり、現在も電波や X 線帯域で見られる類似の巨大構造と絡めた議論が活発に行われている。我々のグループは過去の研究でフェルミバブル内部領域に位置する「すざく」及び Swift 衛星の観測データを解析した。その結果 (1) 南北バブル部分には普遍的に $kT \sim 0.3\text{keV}$ のプラズマが存在していること、(2) 北側 NPS(North Polar Spur) においてはそのエッジを境界に熱放射率が 50%程度変化すること、(3) バブル内外の非熱的・熱的圧力が概ね釣り合っていること、(4) 北側 NPS や南側の爪構造においては他のバブル部分よりも熱放射量が高くなっていることがわかった (Kataoka et al.2013,2015, Tahara et al.2015)。これらの結果は NPS がバブル膨張の際に加熱、圧縮された銀河ハローガスである可能性を示唆するものである。Yoshino et al.2008 をはじめとした複数の先行研究で銀河ハローガスの典型的な温度は $kT \sim 0.2\text{keV}$ と求められているが、バブル周辺領域を含んだ探査は未だ行われていない。そこで今回、バブル部分から外れた領域 (銀経 45 ~ 100 度) に位置する「すざく」衛星の観測アーカイブデータの解析を行った。その結果、スペクトルはバブル部分と同様のモデルで再現することができ、典型的な銀河ハローガスに比べてバブル部分のプラズマが高温となっている傾向を、同一の方法による系統的な探査で初めて明らかにした。本講演では「すざく」衛星の観測成果についてまとめ、バブル部分で観測される $kT \sim 0.3\text{keV}$ の高温プラズマの分布とフェルミバブルとの関連について議論したい。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Q23a X線天文衛星すざくによる銀河系高温ガスハローの空間分布測定

中島真也、井上芳幸（宇宙科学研究所）

全天に広がる軟 X 線放射バックグラウンドの研究から、銀河系ハロー領域に温度 $\sim 10^6$ K の高温プラズマが広がっていることが明らかになっている。その温度が銀河系質量から計算したビリアル温度とほぼ一致することから「銀河間空間物質の質量降着」が起源として提唱されている (e.g., Miller & Bregman 2015)。一方で、「超新星や星風によるディスク領域からのアウトフローの重ね合わせ」という説もあり (e.g., Sakai et. al. 2014)、決着はついていない。それぞれの説では、プラズマ密度の空間分布が異なる。すなわち、質量降着説では β モデルで表される球対称の分布となり、アウトフロー説では数 kpc のスケールハイトを持つ disk 状（シリンダー状）の分布となる。したがって、X 線観測によりさまざまな天球方向のプラズマ emission measure (EM) を測定することで、起源に制限をつけることができる。この試みは XMM-Newton 衛星をつかった先行研究があるものの、統計エラーが大きく、有意な制限をつけることができていない (Henley & Shelton 2013)。そこでわれわれは、広がった X 線放射に対して最も高い感度を持つすざく衛星のアーカイブデータ (65 ポインティング) を使うことで、EM をこれまでになく精度で決めることに成功し、その銀緯方向プロファイルが disk 状分布でよく再現できることを発見した。これは、高温ガスハローの起源としてアウトフロー説を示唆するものである。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Q24a パルサー星雲における二次フェルミ加速モデル

田中周太 (甲南大学)

パルサーから吹くパルサー風が供給されることによって、パルサー星雲は輝いている。パルサー風の源はパルサーの回転エネルギーであり、パルサー磁気圏で生成されたパルサー風は、そのパルサー生成時の超新星爆発放出物にぶつかり、衝撃波を形成する。パルサー星雲放射の源となる非熱的粒子は、その衝撃波で衝撃波統計加速 (一次フェルミ加速) されていると考えれば、超新星残骸など他の高エネルギー天体との整合性の面で都合が良い。しかし、パルサー星雲からは X 線領域に比べて、電波領域で非常に硬いスペクトルが観測されている。電波領域と X 線領域に見られるスペクトルの差異は、一次フェルミ加速理論との整合性が悪く問題とされてきた。加えて、パルサー星雲における電波領域の放射に関しては、パルサー磁気圏での粒子生成量の問題と合わせて、長年議論されている問題でもある。

本講演では、パルサー星雲内に偏在すると考えられる乱流による、二次フェルミ加速を議論する。近年の相対論的磁気流体の三次元シミュレーションなどで見られるパルサー星雲内の乱流構造や、カニ星雲で観測されるフィラメント構造からは、パルサー星雲内が強い乱流状態であることが示唆される。乱流による高エネルギー粒子の拡散は、パルサー星雲からの X 線放射の空間構造に関する議論でも見られ、パルサー星雲での二次フェルミ加速の可能性に言及している研究はあるものの、二次フェルミ加速と観測スペクトルとの整合性に関する定量的な議論はなされていない。ここで、我々のパルサー星雲のスペクトルモデルを拡張することで、パルサー星雲の電波領域のスペクトルが二次フェルミ加速で説明できることを示す。その時に必要とされる粒子注入や乱流のパラメータを示し、その妥当性についても議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Q25a 広がった TeV ガンマ線源 VER J2019+368 の X 線観測

田中慎之、水野恒史、高橋弘充、勝田隼一郎 (広島大学)、林克洋 (名古屋大学)、山崎了 (青山学院大学)

現代の宇宙物理学において重要な研究テーマの1つが宇宙線の起源であり、この起源として有力なもの1つが、星生成領域である。その為、星生成領域は様々な波長で精力的な探査がなされている。そんな中、2007年にMilagroが星生成領域「はくちょう座X」方向に発見し、その後VERITASでも追観測が行われた広がったTeVガンマ線源VER J2019+368がある。この天体は1.75というハードなベキをしていて、また差し渡し $\sim 1^\circ$ と大きく広がっていることから宇宙線のエネルギー分布に加え、空間分布も調べることができると期待され、多波長で観測が行われている。X線でも観測が行われ、パルサーPSR J2021+3651やパルサー星雲G75.2+0.1が確認され、X線対応天体と考えられているが、X線とTeVガンマ線で放射サイズが大きく違うことや、X線放射に関する定量的な議論が不十分という問題があった。

そこで、広い視野と優れた空間分解能を持つXMMのアーカイブデータを用いて $5' \times 12'$ の領域でスペクトル解析をし、パルサー星雲の広がったX線放射を定量的に評価した。すると、パルサーを挟んで東西とも星間吸収を受けたベキ関数でフィットでき、2–10 keVのフラックスが 1.5×10^{-12} [erg/s/cm²]程度、ベキ指数が1.9程度で大体同じであることが分かった。一方、広がった放射に感度が高いSuzakuでも西側パルサー星雲を観測・スペクトル解析をしたところ、パルサー星雲由来のX線放射は約 $15' \times 10'$ の広がりを持ち、 $N(\text{H})=8.2 \times 10^{21}$ cm⁻²、 $\Gamma = 2.05$ のベキ型スペクトルをしていることが分かった。本講演では、今回得られた結果を報告すると共に、TeVガンマ線などの先行研究の結果も用いることで、TeVガンマ線の起源や粒子加速機構についても議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Q26a **フェルミ衛星 LAT 検出器による MBM 53,54,55 および Pegasus Loop 領域の観測**

水野恒史、Soheila Abdollahi(広島大学)、奥村暁、田島宏康、林克洋、福井康雄、山本宏昭(名古屋大学)

天の河銀河における宇宙線と星間ガスの分布は、銀河の高エネルギー現象および星生成を理解する上で重要である。数 100 MeV 以上の宇宙線は、星間ガスとの相互作用を通して、空間的に広がったガンマ線を放出し、中でも宇宙線の主成分である陽子は、核反応で生じたパイ中間子の崩壊により強い GeV ガンマ線を作り出す。ガンマ線の放射率が物質の状態によらず、またガンマ線の透過力が強いことから、GeV ガンマ線観測は、宇宙線と星間ガスを調べる強力なプローブとなる。2008 年に打ち上げられた Fermi 衛星は、広い視野(全天の約 20%)を生かしサーベイ観測を行うことで、ほぼ「無バイアス」に宇宙線と星間ガスを調べることができる。

星間ガスは従来、中性水素の 21 cm 線や CO 分子の輝線で測定されてきたが、伝統的な電波サーベイではトレースしきれない通称”dark gas”があることが徐々に認識されてきた (Grenier et al. 2005)。通常はダストの放射/吸収を用いて補正が行われるが、ダストの性質に原理的に依存するため、独立なトレーサーとしてのガンマ線の重要性は高い。本講演では Fukui et al.(2014) で詳細に研究が行われた MBM 53,54,55 分子雲および Pegasus Loop 領域のフェルミ衛星による観測について報告する。ダスト(および全星間ガス)のトレーサーとしては、Planck 衛星によるダストモデルの中で、353 GHz での光学的厚みおよび全放射強度を用いた。両者は 21 cm 線強度との相関が大きく異なることから、ガンマ線との相関について、ダスト温度依存性も含めて詳細に検討した。解析方法および得られた結果について報告・議論を行う。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Q27a **Direct Ejecta Velocity Measurements of Tycho's Supernova Remnant**

Toshiki Sato (Tokyo Metropolitan University, ISAS/JAXA, Rutgers University), John P. Hughes (Rutgers University)

Tycho's supernova remnant (SNR) is the remnant of SN 1572 which was recorded by Tycho Brahe. As the prototypical type Ia SNR in the Galaxy, Tycho's SNR has been well studied for investigation of the type Ia explosion mechanism. However, our understanding of the physical mechanism of such explosions is incomplete. In this talk, we present the first direct ejecta velocity measurements of the SNR. The high angular resolution X-ray imaging of Chandra allows us to reveal a patchy structure of ejecta velocities, that we cleanly separate into redshifted and blueshifted ejecta blobs for the first time. We found the typical velocities of the redshifted and blueshifted blobs are $< 7,800$ km/s and $< 5,000$ km/s, respectively. We also identified an annular region ($\sim 3.3'$ – $3.5'$), where the surface brightness in the Si, S, and Fe K lines reaches a peak while the line width reaches a minimum value. These minimum line widths correspond to ion temperatures of ~ 1 MeV for each of the three species. The result agrees with one-dimensional delayed detonation models for Tycho's SNR from Badenes et al. (2006).

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Q28a 「すざく」によるガンマ線超新星残骸 G298.6–0.0 および G32.8–0.1 の観測

馬場彩 (東大), 澤田真理 (青学大), 寺田幸功 (埼玉大), J. Hewitt, R. Petre, L. Angelini (NASA/GSFC), S-H. Samar (U. Manitoba), Z. Ping (Nanjing U.), F. Bocchino (INAF)

超新星残骸衝撃波で加速された粒子がどのように衝撃波から「逃亡」し、宇宙線になるかは未だに明らかになっていない。この問題の鍵として注目されているのが、Fermi 衛星が発見した超新星残骸からのガンマ線放射である。ガンマ線放射を持つ超新星残骸の多くは年老いており分子雲と相互作用がある。また、ガンマ線スペクトルは ~ 10 MeV に折れ曲がりがある。これらから、年老いた超新星残骸からのガンマ線は、分子雲に衝突した衝撃波から逃げ出しつつある粒子を見ているのではないかとされている。しかし、ガンマ線で明るい超新星残骸の多くは X 線など他波長で未観測のものが多く状況である。

我々は、Fermi 2nd source catalog から超新星残骸と空間的に一致し、深い X 線観測が全くないサンプル 23 天体を選んだ。その中から「すざく」衛星搭載 XIS の視野に収まる天体として、G298.6–0.0 と G32.8–0.1 をを選定し、「すざく」での深観測を行なった。その結果、G298.6–0.1 からは Mixed morphology 型、G32.8–0.1 からは shell 型の熱的 X 線放射を発見した。電離状態や X 線放射とガンマ線放射の関連についても議論する予定である。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Q29a 「すざく」による GeV ガンマ線超新星残骸 HB 21 の X 線観測

鈴木寛大, 馬場彩, 中澤知洋 (東大理), 澤田真理 (青学大)

宇宙には超高エネルギー粒子 (宇宙線) が満ちており、その起源は大きな謎となっている。宇宙線をつくり出す粒子加速機構の候補として、超新星残骸 (Supernova Remnant: SNR) の衝撃波面における Fermi 機構が考えられるが、その過程は十分には解明されていない。加速現場としての SNR の理解のためには、付随するプラズマが発する熱的 X 線放射から、加速環境の温度や密度などを調べるのが重要である。興味深いことに、GeV ガンマ線が検出された古い SNR のほとんどから、電子温度よりも電離温度が高い過電離プラズマが報告されており、しかも分子雲と相互作用している場合が多い。このような事実から、衝撃波と分子雲の相互作用・過電離・粒子加速には関連があると考えられ、これを調べることは SNR における粒子加速を理解する鍵となりうる。

そこで我々は HB 21 に着目した。この SNR からは GeV ガンマ線放射が確認されており (Pivato et al. 2013)、その南方は比較的薄い、もしくは小さい分子雲と相互作用していることが分かっている (Koo et al. 2001)。そのため HB 21 は、分子雲と強く相互作用する SNR と分子雲の付随しない SNR の中間に位置すると言え、過電離・粒子加速・分子雲衝突の関係を知るのに最適な天体である。

我々は「すざく」衛星で HB 21 南部を 156 ksec 観測し、視野全体に広がった X 線放射を確認した。スペクトルには熱制動放射と、H-like, He-like の Mg, Si, S や He-like の Ar の輝線が見られた。熱的な電離平衡プラズマモデルで評価すると、電子温度が約 0.7 keV と見積もられたが、Si の輝線などはうまく再現できていない。本講演では、プラズマの電離状態とガンマ線放射強度の関係を、他の GeV ガンマ線 SNR と比較しながら議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Q30a 「すざく」による超新星残骸 G306.3-0.9 からの鉄 K 輝線の発見

澤田真理, 伊藤優汰 (青学大), 馬場彩 (東京大), 立花克裕, 松村英晃, 内田裕之 (京都大)

G306.3-0.9 は, 近年 *Swift* の銀河面サーベイで発見され, *Chandra* による追観測で熱的 X 線放射が検出された超新星残骸である。数 pc という大きさから年齢は数千年とされたが, 距離の評価にもちいた X 線星間吸収量 ($2.0 \times 10^{22} \text{ cm}^{-2}$) が銀河系内総水素柱密度の倍近い点や, 熱的 X 線を放射するプラズマの電子温度が $\approx 0.6 \text{ keV}$ とかなり低い点から, この推定の信頼度は低い。硫黄・アルゴンなどの組成比は太陽組成を上回り, プラズマがイジェクタ起源であることを示唆する一方, ケイ素の組成比 (Z_{Si}) が相対的に小さいことから, Ia 型爆発の残骸である可能性が高いとされた。しかし, 鉄 K 輝線が未検出のため, 鉄の組成比 (Z_{Fe}) などをもちいた信頼のける爆発型制限はできなかった。以上はいずれも 5 keV 以上での高感度の X 線分光観測が必要であることを示す。

われわれは 2014 年 8 月に「すざく」衛星の X 線 CCD カメラ XIS をもちいて G306.3-0.9 を 190 ks 観測した。観測視野内でバックグラウンドを評価して差し引いたところ, G306.3-0.9 から $\approx 9 \text{ keV}$ までの X 線を検出し, 輝線中心 6.50 keV の鉄 K 輝線をはじめ検出した。XIS で得たスペクトルは, 星間吸収を受けた温度 0.6 keV の低温電離平衡プラズマおよび 5.2 keV の高温電離非平衡プラズマの和としてよく再現された。組成比パターンは, 前者では星間物質が, 後者ではイジェクタが支配的であることを示した。星間吸収量は $1.1 \times 10^{22} \text{ cm}^{-2}$ と, 銀河系内水素柱密度の 8 割程度であるとわかり, この残骸は系内の比較的遠方にあるといえる。H α 輝線が暗いことやこの方向の分子輝線速度分布もあわせ, 残骸が Centaurus 腕の視線接点より向こう側, おそらく遠方側の Carina 腕付近に位置すると推定し, 距離を 6-12 kpc と見積もった。高温成分の組成比パターン ($Z_{\text{Fe}}/Z_{\text{Si}} \approx 5$), 鉄の電離度 (窒素状程度) が示唆する比較的希薄な爆発環境から, Ia 型爆発起源である可能性が高いと結論した。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

Q31c 特異な構造を持つ超新星残骸 G166.0+4.3 からの過電離プラズマの発見

松村英晃, 内田裕之, 田中孝明, 鶴剛, 伊藤真音 (京都大学), 信川正順 (奈良教育大学), 信川久実子 (奈良女子大学)

G166.0+4.3 は東部は典型的な球状、西部は大きく広がった形状の特異な電波シェルを持つ超新星残骸である。一方で X 線放射は中心集中しており、Mixed-Morphology 型に分類される。ASCA、XMM-Newton による観測から、X 線は電子温度 0.6–0.8 keV の熱的プラズマからの放射であることが分かった (Guo & Burrows, 1997, ApJ, 480, L51; Bocchino et al., 2009, A&A, 498, 139)。しかし、それぞれの有効観測時間は、わずか 20 ks および 5 ks であったため、プラズマ電離状態と元素組成量の空間分布について有意な制限は得られていなかった。

我々はすざく衛星を用いて G166.0+4.3 の計 230 ks におよぶ観測を行った。西部のプラズマは電子温度が 0.85 keV の電離進行プラズマ (IP) で再現できた。我々は東部のプラズマにも西部と同様の IP モデルを採用した結果、Si, S 輝線付近に再結合優勢な過電離プラズマ (RP) の兆候である大きな残差を発見した。詳細な解析の結果、プラズマは Fe, Ni は電子温度 0.85 keV の IP だが、他の元素は電子温度 0.44 keV の RP であった。これは G166.0+4.3 から RP を発見した初めての結果である。東部の RP の起源のひとつは分子雲との熱接触が考えられる。内部に存在する重い元素よりも外部の軽い元素が熱接触によって先に RP になったとすると、観測事実を良く説明する。分子雲との熱接触のタイムスケールは 4.2 万年と求まり、G166.0+4.3 の年齢 2.4 万年 (Burrows & Guo, 1994, ApJ, 421, L19) と桁で一致する。また Fermi 衛星による観測結果 (Araya, 2013, MNRAS, 434, 2202) より、GeV ガンマ線放射は東部のみ明るい。これは東部に分子雲が存在することを示唆し、我々の結果をサポートする。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Q32a X線天文衛星「すざく」による超新星残骸 W28 の北東部の観測

尾近洸行, 内田裕之, 田中孝明, 鶴剛, 松村英晃 (京都大学)

W28 (G6.4-0.1) は電波ではシェル状に広がり、X線では中心集中している形状から Mixed-Morphology (MM) 型の超新星残骸 (SNR) に分類される。X線天文衛星「すざく」の観測から、W28 の中心部に電離過程より再結合過程が優勢な過電離プラズマが存在することがわかっている (Sawada & Koyama 2012, PASJ, 64, 81)。

現在、この過電離プラズマの詳しい形成過程はよくわかっていない。有力なモデルとして星間物質 (ISM) からの熱伝導冷却によってプラズマの温度が低下する熱伝導モデルと、電離平衡状態にあったプラズマが衝撃波により密度の低い ISM に広がって断熱膨張する際に電子温度が下がる断熱膨張モデルの2つが提案されている。

断熱膨張モデルの場合、プラズマの電離状態の空間分布は大域的にほぼ一樣になると予想される。一方で熱伝導モデルでは衝撃波と ISM との衝突が起こる面で電子温度の冷却によって特に強い過電離状態を示すと考えられる。したがって、これら2つのモデルを検証するには、過電離状態にあるプラズマの空間分布を調べることが必要である。そこで、今回我々は「すざく」による観測で W28 北東側のシェルの観測に着目し、そこでのプラズマの電離状態を中心部分と定量的に比較することで形成モデルの検証を行った。

近年の「すざく」による観測で、他の MM 型の SNR から過電離プラズマが次々に発見されている。今回の研究は、一般的な MM 型の SNR の過電離プラズマの形成過程についての統計的な検証の一端を担うと考えられる。

本講演では、W28 北東側のシェルにおける X線スペクトルの解析の詳細について報告し、その解析結果に基づいてこの天体の過電離プラズマの起源を議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Q33a 「KWFC」H α 測光観測による超新星残骸 G156.2+5.7 の膨張率測定

勝田 哲 (中央大学), 田中雅臣 (国立天文台), 諸隈智貴 (東京大学), Robert Fesen (Dartmouth College), Dan Milisavljevic (Harvard-Smithsonian CfA)

G156.2+5.7 は、X線では明るいですが電波で極めて暗いため、電波サーベイより先にX線サーベイで発見された特異な超新星残骸である。視直径が 2° 近くもあり、詳細観測が可能な貴重な研究対象である。我々はX線天文衛星「すざく」でこの天体をマッピング観測し、残骸の内部に爆発噴出物が充満していることを発見し、その重元素組成比から親星の質量を $\sim 15M_\odot$ と推定したり、重元素分布の非対称性を明らかにしたり、興味深い結果を得てきた。その一方で、距離の不定性は未だに大きく(0.3–7 kpc)、様々な物理パラメータ(年齢・爆発エネルギー等)に大きな不定性が残っていた。

距離を決定する一つの有効な手段は残骸の膨張率の測定である。X線で観測できる残骸のエッジはさほどシャープでないため、固有運動測定に適さない。ところが、H α フィラメントが残骸を縁取っていることが2007年に判明し(Gerardy & Fesen 2007, MNRAS, 376, 929)、その固有運動が数年の間隔で測定できる可能性があった。そこで我々は、2015年11月および2016年1月に、1.05m 木曾シュミット望遠鏡(KWFC)でH α 測光観測を実施した。その結果、計8時間ほどの良質な観測データを取得することができ、鮮明にH α フィラメントを映し出すことに成功した。これを2004年にMcDonald Observatoryが取得したH α 画像と比較することで、固有運動に厳しい上限値 $\mu \sim 0.06'' \text{ yr}^{-1}$ を与えることができた。さらに、固有運動の上限値とX線観測から推定した衝撃波の実速度500 km/sと組み合わせ、G156.2+5.7までの距離の下限値を1.7 kpcと算出した。また、複数の超新星残骸の膨張率と年齢を比較することで、G156.2+5.7の年齢を数万年と類推することにも成功した。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Q34a 超新星残骸 RCW 86 における TeV ガンマ線の起源

佐野栄俊, 吉池智史, 福田達也, 稲葉哲大, 山根悠望子, 山本宏昭, 立原研悟, 福井康雄 (名古屋大学), Estela M. Reynoso (IAFE), Ira Jung-Richardt (FAU), Gavin Rowell (University of Adelaide)

宇宙線の起源解明は、天文学 100 年来の課題である。目下最大の焦点は、銀河系内の最高エネルギー $10^{15.5}$ eV (*knee*) に迫る陽子の加速を捉えることにある。TeV ガンマ線で明るい超新星残骸 (SNR) が、その発生源として有力視されている。ガンマ線は陽子・電子どちらからも放射されるが、ハドロン起源 (陽子-陽子反応) が確立できれば、宇宙線陽子加速の検証につながる (e.g., Aharonian et al. 2008; Fukui et al. 2012; Fukuda et al. 2014)。

RCW 86 (G315.4-2.3, MSH 14-63) は年齢 ~ 1800 年の若いシェル型 SNR である。TeV ガンマ線やシンクロトロン X 線で明るいことから、数 TeV を超える宇宙線加速現場として注目される (e.g., Broersen et al. 2014; H.E.S.S. Collaboration et al., 2016, in press)。我々はこれまでに、RCW 86 方向の星間分子および原子ガスの観測を行い、X 線との比較を通して、SNR に付随するガス成分を特定してきた (日本天文学会 2014 年秋季年会 佐野ほか; Sano et al. 2016 in prep.)。

今回我々は、RCW 86 における星間ガスと TeV ガンマ線・X 線との詳細比較を行った。結果として、SNR 南部を除く全域で、TeV ガンマ線と原子ガス分布の良い空間一致が見られた。これはハドロン起源ガンマ線の必要条件である。一方、分子雲方向では、TeV ガンマ線の増光は見られなかった。宇宙線陽子は、高密度ガス内部にはまだ十分に浸透できていないと考えられる。さらにシンクロトロン X 線は、SNR 南部以外では、TeV ガンマ線との空間一致が悪いことも明らかになった。本講演では、RCW 86 おける TeV ガンマ線放射が、概ねハドロン起源で説明できることを示す。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Q35a 超新星残骸 Cassiopeia A に付随する分子雲と原子雲

稲葉哲大, 佐野栄俊, 山根悠望子, 吉池智史, 山本宏昭, 立原研悟, 福井康雄 (名古屋大学)

超新星残骸 (SNR) は, 宇宙線発生源の最有力候補である. SNR での宇宙線加速を捉えるには, ガンマ線や X 線の観測に加え, 星間ガス (分子雲 + 原子雲) との比較研究が欠かせない. これまで我々のチームでは, 年齢 2,000–10,000 歳の SNR に付随する星間ガスを特定し, ガス密度とガンマ線フラックスの相関から, 宇宙線の主成分である陽子の加速を捉えてきた (e.g., Fukui et al. 2012). また, 衝撃波相互作用による星間ガス周辺でのシンクロトロン X 線増光を捉え, 加速された電子の最高エネルギーが, 星間ガス分布に依存していることを示した (Sano et al. 2013, 2015). SNR における宇宙線加速の普遍的描像を得るには, さらに年齢の若い (< 2,000 歳) SNR への研究対象の拡張が欠かせない.

Cassiopeia A は, 視直径 ~ 6 分角, 年齢 ~ 340 歳の若いシェル型 SNR である. TeV ガンマ線やシンクロトロン X 線で明るいことから, 銀河系内宇宙線の最高エネルギー (~ $10^{15.5}$ eV) に匹敵する加速源として注目される (e.g., Aharonian et al. 2001). 星間ガスの観測も行われているが, X 線との詳細な比較研究は行われておらず, 付随する星間ガスの精確な特定には至っていない (e.g., Kilpatrick et al. 2014).

今回我々は, 野辺山 45 m 鏡 $^{12}\text{CO}(J=1-0)$ 輝線観測を行い, かつてない角度分解能 (~18 秒角) で, Cassiopeia A 周辺の分子雲分布を明らかにした. 結果として, SNR 南側のシンクロトロン X 線フィラメントと相補的に分布する分子雲を発見した. さらに VLA H α の公開データ (角度分解能 ~7 秒角) を用いることで, SNR 北側の X 線シェルに沿った原子雲の分布を捉えた. これらは衝撃波相互作用による X 線増光と解釈できる. 本講演ではこれらの結果を踏まえ, Cassiopeia A に付随する分子雲および原子雲の密度, 励起状態と宇宙線加速について論じる.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Q36a **CO, HCO⁺ 回転遷移輝線による SNR W44 超高速度成分の観測的研究 (II)**

山田真也、岡 朋治、野村真理子、竹川俊也、岩田悠平、田鍋圭介、辻本志保、徳山碩斗、古澤舞子 (慶應義塾大学)

超新星残骸 W44 は、太陽系から約 3 kpc の距離にある II 型超新星爆発の残骸であり、約 3×10^5 太陽質量の巨大分子雲が付随する。これまで我々のグループでは、超新星残骸/分子雲の相互作用系として W44 の重要性に着目し、同天体の mm-submm 帯分子スペクトル線観測を展開してきた。その過程において我々は、空間的に局在した極めて速度幅の広い超高速度成分 (bullet) を発見した。この bullet は、 $0.5 \times 0.8 \text{ pc}^2$ 程度の空間的広がりを持ち、電波連続波および H₂ 振動遷移輝線の対応天体が見られる。我々は最近、NRO 45m および ASTE 10m 望遠鏡を使用した観測で描き出された bullet の詳細な空間・速度構造に基づき、その起源として超新星衝撃波後方の高密度分子層に点状重力源が高速で突入する過程を提案した (山田他、2016 春季年会 Q11a)。運動エネルギーが 10^{48} erg 程度と莫大である事から、この点状天体は質量 $10 M_{\odot}$ 以上の孤立ブラックホールと考えるのが適当である。

今回我々は、Morpa 22m 望遠鏡を使用した bullet 方向のラインサーベイ観測の結果について報告する。観測は 2015 年 08 月、17 日間 (56 時間) に渡って行われ、76–116 GHz の周波数範囲をカバーする $\Delta T_A \simeq 70 \text{ mK}$ の均質なスペクトルを得た。その結果、CO, HCO⁺ をはじめとする幾つかの輝線を bullet 方向から有意に検出した。一方で、bullet の速度幅は明らかに解離性となる閾値を超過しているにも拘わらず、解離性衝撃波の代表的なプローブである SiO 分子の $J=2-1$ 輝線は検出されなかった。この事は、bullet の加速過程に超新星衝撃波は介在していないことを意味しており、我々の提唱する点状重力源の突入説を支持する結果である。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Q37a スーパーバブル 30 Doradus C に付随するガス雲

山根悠望子、佐野栄俊、稲葉哲大、吉池智史、馬場崎康敬、三石郁之、山本宏昭、立原研悟、福井康雄 (名古屋大学)

超新星残骸 (SNR) は宇宙線加速源の最有力候補である。近年、宇宙線の大部分を占める陽子成分について、星間ガスとの衝突により放射されるガンマ線と SNR に付随するガスの分布との一致が示されたことなどから、SNR における加速が観測的に実証され始めている (e.g. Fukui et al. 2012)。しかし、空間分布の一致が確認された最高エネルギーガンマ線 SNR はまだ 4 天体に過ぎない (Fukui et al. 2012; Fukui 2013; Yoshiike et al. 2013; Fukuda et al. 2014)。宇宙線加速の一般的描像を得るには、さらに様々な性質の SNR での検証が必要である。

スーパーバブル 30 Doradus C は、大マゼラン雲 (LMC) の SNR 複合体である。シンクロトロン X 線や TeV ガンマ線で非常に明るい当天体では、数 TeV を超える高エネルギーの宇宙線加速が示唆される。近年、30 Doradus C 方向の $^{12}\text{CO}(J = 1-0)$ 輝線観測が行われたが (天文学会 2015 年秋季年会 佐野ほか)、角度分解能が 45–90 秒角 ($\sim 11-22\text{pc @ LMC}$) と低く、分子雲クランプの同定や、X 線フィラメントとの詳細な比較はできなかった。

今回我々は、ASTE による $^{12}\text{CO}(J = 3-2)$ 輝線観測を行い、30 Doradus C 周辺の分子雲分布をかつてない角度分解能 ~ 22 秒角 ($\sim 5\text{ pc @ LMC}$) で明らかにした。これにより、30 Doradus C 西側のシンクロトロン X 線の強い領域に -235 – -275 km s^{-1} の範囲で複雑に重なり合っている分子雲クランプを ~ 20 個同定した。これらの多くはシンクロトロン X 線フィラメントと相補的な空間分布を示しており、衝撃波相互作用している可能性が高い。さらに位置速度図から、直径 ~ 4 分角、膨張速度 $\sim 15\text{ km s}^{-1}$ の分子雲膨張シェル構造を見出した。以上の結果を踏まえ本講演では、30 Doradus C における宇宙線加速について論じる。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Q38a 超新星残骸における宇宙線の垂直衝撃波加速と knee 領域加速問題

高本亮 (東京大学) John Kirk (Max-Planck-Institut for Nuclear Physics)

宇宙には宇宙線と呼ばれる非熱的高エネルギー粒子が存在している事が観測から知られている。これらの宇宙線のうち 10^{15} eV のエネルギー領域については、そのベキが一定である事から我々の銀河系内の超新星衝撃波によって加速していると考えられている。しかし理論的には衝撃波での加速時間を考えた場合に、超新星残骸の寿命内では宇宙線を 10^{15} eV まで加速することが出来ない事が知られており、銀河系内宇宙線の未解決問題の1つになっている。

本講演では垂直衝撃波における宇宙線の粒子加速の研究結果について報告を行う。垂直衝撃波では典型的な衝撃波加速よりも非常に短い時間で粒子を加速出来る事が出来る事が理論的に予測されている。しかしその理論で仮定されている粒子の等方性などの妥当性についてはこれまで明らかにされておらず、実際にどの程度効率が良くなるかについては不明確であった。本研究では垂直衝撃波での宇宙線加速を解析的手法と数値的手法を用いた研究を行い、これまで知られていなかった加速に必要な条件と加速機構を明らかにした。さらに Wolf-Rayet star の wind 領域を超新星衝撃波が伝播する場合に knee 領域まで宇宙線を加速出来る事も示す。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Q39a 衝撃波で加速された宇宙線スペクトルのカットオフの形について

山崎了, 大平豊, 澤田真理 (青学大), 吉田龍生, 柳田昭平 (茨城大), 馬場彩 (東京大)

若い超新星残骸などに存在する衝撃波では、フェルミ加速により宇宙線が生成されている。被加速粒子の最高到達エネルギー E_{max} は、電子ならば 10–100 TeV 程度、陽子ならば 3000 TeV にまで及ぶ。しかし、 E_{max} が観測的に明確に定まった例は少ない。理論的には E_{max} は、(1) 被加速粒子の加速時間と年齢のつりあい以て決まる場合 (age-limited)、(2) 加速時間と冷却時間のつりあい以て決まる場合 (cooling-limited)、(3) 加速領域からの被加速粒子の逃走過程で決まる場合 (escape-limited) に大別される。被加速粒子のスペクトルの E_{max} 付近のふるまいは、上記 1–3 の場合で異なり、さらに、粒子の拡散係数の粒子のエネルギーの依存の仕方にも依るため、粒子スペクトルのカットオフ形が詳細にわかれば、 E_{max} の決まり方や拡散係数のエネルギー依存性についての情報を得られる可能性がある。

そこで、上記 1–3 のそれぞれの場合について、宇宙線の輸送方程式を解くシミュレーションを行い、 E_{max} 付近のカットオフの形について調べた。具体的には、被加速粒子の拡散係数のエネルギー依存性を $\propto E^\beta$ と仮定し、シミュレーションによって得られた E_{max} 付近の被加速粒子のスペクトル形を $\propto E^{-p} \exp[-(E/E_{max})^a]$ という関数形でフィットして、 a と β の間の関係を求めた。その結果、(1) の場合は $a \approx 2\beta$ 、(2) の場合は $a \approx \beta + 1$ 、(3) の場合は $a \approx \beta + 0.5$ 程度になることがわかった。次に、これらの結果を実際の観測によって検証できるか考察した。その結果、若い超新星残骸のシンクロトロン X 線の異なるバンド帯域間の光子指数やハードネスを比較することで X 線を放射する電子の E_{max} 付近のスペクトル形を推定できる可能性があることがわかった。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

Q40a 超新星残骸 W44 分子雲中に発見された超高速度成分の数値流体計算

野村真理子、岡 朋治、山田真也、竹川俊也（慶應義塾大学）

超新星残骸 W44 は II 型超新星爆発の残骸であり、約 $3 \times 10^5 M_{\odot}$ の巨大分子雲と相互作用している。これまで私たちのグループでは、同天体のミリ波サブミリ波帯分子スペクトル線観測を展開し、W44 分子雲中で空間的に拡散した微弱な高速度 wing 成分に加えて、一カ所に局在した超高速度成分 (bullet) を発見した。この bullet は $0.5 \text{ pc} \times 0.8 \text{ pc}$ 程度の空間サイズを持ち、視線速度は W44 分子雲から負方向に 100 km s^{-1} もの速度幅を持つ。最近の ASTE 10m 望遠鏡及び野辺山 45m 望遠鏡を使用した詳細観測によって、bullet は wing と比較しても高温・高密度であり、それだけで $\sim 10^{48} \text{ erg}$ という莫大な運動エネルギーを持つことがわかった (山田他、2016 年春季年会 Q11a)。この値は W44 衝撃波が等方的に膨張した場合に期待されるエネルギー注入量よりも二桁近く大きい。

このような超高速度分子ガス成分の起源として、ブラックホールによる分子雲の重力散乱が考えられる (Oka et al. 2016 ApJL)。今回我々は数値流体シミュレーションを用いて、ブラックホールに分子ガス流が Bondi-Hyle Lyttleton 降着する過程で超高速度成分が形成される可能性を検討した。計算では、固定したブラックホールに対して遠方から一様なガスを等速に流し、ブラックホール周辺における運動を調べた。計算の結果、 $10 M_{\odot}$ のブラックホールでも 100 km s^{-1} 程度の速度幅を再現することはできたが、 $\sim 0.1 \text{ pc}$ の空間サイズを再現することは困難である事が分かった。つまり純粋な BHL 降着過程では、bullet の運動学的性質 (エネルギー、速度幅、空間サイズ) のうち、空間サイズだけが説明できない。この結果を踏まえ、講演では W44 衝撃波による圧縮分子層中の平行磁場を考慮に入れる事によって、超高速度成分に空間的広がりを生じる可能性について吟味する。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

Q41a パルサー星雲放射の空間構造

石崎渉, 田中周太, 浅野勝晃, 寺澤敏夫

パルサーは、その回転エネルギーをパルサー風と呼ばれる相対論的な電子・陽電子プラズマ流に転換している。この流れが周囲の超新星残骸に衝撃波を形成し、粒子加速過程によって非熱的な電子・陽電子を生成する。これらの非熱的粒子が、パルサー風の磁場および星間空間の光子と相互作用し、シンクロトロン放射・逆コンプトン散乱しながら広がっている天体がパルサー星雲である。Kennel & Coroniti [1984, ApJ, 283, 694] は、以上の描像のもとに星雲を相対論的電磁流体力学に基づいてモデル化した研究 (以降 KC モデル) である。KC モデルでは、粒子が放射冷却する効果を考慮することで、かに星雲の X 線の放射領域が可視光および電波の放射領域よりも小さいことを定性的に説明できており、これはモデルの正しさの傍証の一つとされてきた。

しかし、高分解能の X 線観測の発展によって、X 線と電波のサイズが同程度であるパルサー星雲が発見された。これらの観測事実は、KC モデルに再考の余地があることを示しているが、このような放射の空間構造が定量的に議論されたことは無かった。我々は、KC モデルと同様に、磁気流体の流れに沿った非熱的粒子のエネルギー分布の発展を解くことで、パルサー星雲における放射分布を求めた。これを前述のような観測的特徴を示すパルサー星雲 3C 58 および G21.5-0.9 に対して適用し、星雲全体を積分した放射スペクトルと、そのときの X 線放射の空間的な分布を同時に検証した。その結果、両天体で星雲全体からの放射スペクトルは、現実的なパラメータの範囲で再現できることが分かったが、観測される X 線放射の空間分布を同時に再現することは出来ないことが明らかになった。本講演では、以上の結果とその解釈について議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Q42a **Molecular clouds toward the Spitzer bubble S150; possible evidence for a second Spitzer bubble formed by cloud-cloud collision**

Yusuke.Hattori, Keisuke.Hasegawa, Akio.Ohama, Hiroaki.Yamamoto, Kengo.Tachihara, Yasuo.Fukui(Nagoya Univ.), Kazufumi.Torii(NAO)

Recently, Torii et al. (2014) presented a scenario that the Spitzer bubble RCW 120 was created by cloud-cloud collision as an alternative to the wind-blown bubble. It is important to test if the other bubbles are also formed by cloud-cloud collision. S150 is one of the Spitzer bubbles located in the region of WR46. We have made observations in the CO $J=3-2$ and $1-0$ emission lines toward S150 at 22-30 arcsec resolution with the ASTE and Mopra telescopes. As a result, two CO clouds are found at -46 km s^{-1} and -35 km s^{-1} . The two clouds show complimentary distributions with each other and show enhanced line intensity ratios ($J=3-2/J=1-0$) higher than 0.75, indicating that they are heated up by the O star ionizing the inside of the bubble. The two clouds are also linked by the bridging feature in velocity. Based on these results we offer a hypothesis that the blue-shifted cloud collided with the red-shifted cloud to create a cavity and the collisional shock compression triggered formation of the exciting star, an O7 star, inside the bubble. The collision time scale is estimated to be short, $\sim 10^5 \text{ yr}$.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Q43a オリオン座分子雲領域におけるダスト進化を考慮した星間水素の精密定量

山本宏昭, 岡本竜治, 早川貴敬, 林克洋, 佐野栄俊, 立原研悟, 福井康雄 (名古屋大学), 他 NANTEN2
メンバー

我々は Planck 衛星と IRAS 衛星のサーベイデータから導出された低温ダストの光学的厚み (τ_{353})、ダスト温度 (T_d)、及び水素原子 (HI) の 21cm 線のデータを用いて星間水素の定量を行っている。これまでの解析では T_d の高温成分の τ_{353} と HI の強度 (W_{HI}) が線形の比例関係にあるとして、この関係に沿うように T_d の低温成分の W_{HI} を補正することで、HI の真の柱密度 ($N[HI]^*$)、光学的厚み (τ_{HI})、及びスピン温度 (T_s) を導出してきた (線形解析、Fukui et al. 2014, 2015 他)。オリオン座領域についても線形解析を実施してきた (山本他 2014 年春季年会)。しかし Roy et al. (2013) ではオリオン座分子雲においてダストの成長を考慮した $\tau_{dust} \propto N[H]^\alpha$ のモデルが提唱されている。そこで、今回 τ_{353} が $N[H]$ の冪指数に比例する場合の解析をオリオン座領域で行った。

$N[H] \propto A_J$ (Vuong et al. 2003) であることから、 τ_{353} と比較する星間水素のトレーサーとして今回は NICER の J バンドの星間減光のデータ (Juvela & Montillaud 2016) を用いた。オリオン座分子雲の南北でそれぞれ $\tau_{353} \propto A_J^\alpha$ ($\alpha=1.49 \pm 0.03$ (南)、 1.20 ± 0.01 (北)) という結果を得た。 $\tau_{353} \propto N[H]^\alpha$ ($\alpha=1.49 \pm 0.03$ (南)、 1.20 ± 0.01 (北)) として、 W_{HI} の補正を行い、 $N[HI]^*$ 、 τ_{HI} 、 T_s を導出した。今回の非線形解析で導出した $N[HI]^*$ は線形解析の $N[HI]^*$ に比べ全体で 1.2 倍大きくなった。また、光学的に厚い HI ガスは非線形解析結果でも多量に存在し、 τ_{HI} は線形解析同様に北部領域全域にわたって 1 を越えており、最大で 3 程度である。南部領域では τ_{HI} が 1 以下の光学的に薄い HI ガスが広がっている。

講演ではこれらの結果と冪指数でのフィットの正当性等について報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Q44a 全天にわたる中間速度 HI 雲の解析 II

古賀真沙子, 丸山将平, 岡本竜治, 佐野栄俊, 山本宏昭, 立原研悟, 福井康雄 (名古屋大学)

銀河系ハロー部には、銀河回転に従わない高速度 ($|V_{\text{LSR}}| > 100 \text{ km/s}$) HI 雲 (High velocity cloud; HVC) や中間速度 ($|V_{\text{LSR}}| = 20\text{--}100 \text{ km/s}$) HI 雲 (Intermediate velocity cloud; IVC) が広く分布していることが知られている (e.g. Kuntz & Danly 1996)。距離決定の困難さ等からこれらの雲の起源は明らかになっていないが、近年の HI 21 cm 線を用いた研究により、幾つかの HVC や IVC でその形状や銀河円盤のガスとの関係に共通した特徴があることが明らかになってきた。Smith Cloud と呼ばれる HVC は特徴的な彗星様の形状と、銀河円盤のガスとの相互作用を示唆する速度成分を持つことがわかっている (Lockman et al. 2008, Fox et al. 2016)。またアレシボ 300 m 望遠鏡による 21 cm 線のデータを用いた先行研究では、 $(\ell, b) = (86^\circ, -36^\circ)$ にピークを持つフィラメント状 IVC+86-36 が銀河円盤と相互作用を示しており、その重元素量が太陽系近傍より少ないことからハローまたは銀河系外に起源を持つ可能性があることが分かった (丸山他 2015 年秋季年会)。さらには銀河北極に近い IV Arch と呼ばれる領域でも、銀河円盤との相互作用を示す IVC が見つかっている (古賀他 2016 年春季年会)。

これらの先行研究を受けて、我々は新たに $(\ell, b) = (97^\circ, -38^\circ)$ にピークを持つ IVC (IVC+97-30) について詳細解析を行った。この雲は見かけの長さ約 5° の彗星様 IVC であり、 $-60\text{--}30 \text{ km/s}$ の速度を持つ。また太陽系近傍 150 pc の距離を仮定すると質量は $50M_\odot$ 程度となる。この IVC を銀経速度図で見たところ、先の 3 例と同様に IVC と銀河円盤の速度成分とをつなぐ構造の存在が確認された。このことから IVC+97-30 もまた、銀河円盤に向かって落下する IVC であることが示唆される。本講演ではこの解析結果の詳細を報告し、これまでの銀河円盤に落下する HVC/IVC の研究をまとめてその意義を論じる。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

Q45a ペルセウス分子雲領域におけるダスト進化を考慮した星間水素の精密定量

岡本竜治, 佐野栄俊, 林克洋, 早川貴敬, 山本宏昭, 立原研悟, 福井康雄, 他 NANTEN2 メンバー
(名古屋大学)

水素ガス (H I や H_2) は星間物質のうち特に基本的な要素であり、その性質・分布、存在量を知ることは宇宙や天体の進化を理解するうえで極めて重要である。

従来、 H I ガスの量はいわゆる 21 cm 線の速度積分強度により推定されてきた。しかし *Planck* 天文衛星による星間ダストの放射パラメタ (353 GHz でのダストの光学的厚さ τ_{353} など) を用いた新しい定量法を用いると、従来の手法は H I ガス自身の光学的厚さ (τ_{HI}) の効果でその量を 1/2 程度に過小評価してしまうことが示された (Fukui et al. 2014^[1], 2015^[2])。この新手法では τ_{353} を全水素原子の柱密度 N_{H} の線形のトレーサとして用いるが、Roy et al. (2013)^[3] ではオリオン分子雲においてダストの成長を考慮した $\tau_{\text{dust}} \propto (N_{\text{H}})^{\alpha}$ ($\alpha > 1$) のモデルが提起されており、これを導入することでさらに水素ガスの量を正確に推定できると考えられる。

本講演ではまず近赤外線減光と τ_{353} を比較してペルセウス分子雲やカメレオン分子雲など複数の太陽系近傍領域で確かに $\alpha \sim 1.1-1.4$ となることを示す。次にペルセウス分子雲領域でこのモデルを採用して水素ガスの定量を行い、併せて τ_{HI} などの推定結果を紹介する。この領域で $\alpha = 1.2$ のモデルを採用した場合、 $\alpha = 1.0$ に比べ N_{H} の推定量は平均 10% 程度小さくなる。さらに、 H_2 ガスの柱密度のトレーサとして使われる CO 分子輝線強度と比較することにより変換係数 X_{CO} の空間分布を求め、先行研究 (Lee et al. 2012^[4], 2014^[5]) との比較を行う。

[1] Fukui et al., 2014, ApJ, 796, 59 [2] Fukui et al., 2015, ApJ, 798, 6 [3] Roy et al., 2013, ApJ, 763, 55 [4] Lee et al., 2012, ApJ, 748, 75 [5] Lee et al., 2014, ApJ, 784, 80

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Q46a 電波連続波源による中性水素 21cm スペクトルの光学的深さ測定の問題

福井康雄, 早川貴敬 (名古屋大学), 井上剛志 (国立天文台)

中性水素 21cm スペクトルの光学的深さとスピン温度の測定法として、系外電波連続波点源の吸収を輝線と比較する方法が用いられ、0.1 程度の小さな光学的深さが一般に得られていた (e.g., Dickey et al. 1977; Heiles and Troland 2003)。一方、Fukui et al. (2014, 2015) は Planck 衛星のダスト放射を用いて光学的深さとスピン温度を求める方法を提案し、中性水素 21cm スペクトルの光学的深さは大きく、1 前後の値であることを示した。両者の差異を理解するために、磁気流体力学数値計算 (Inoue and Inutsuka 2012) の結果を用いた疑似観測を行なった。その結果、中性水素ガスは高度に非均一であり、光学的に大きな部分 (低温高密度ガス) は面積としては小さく、光学的に薄い部分 (高温低密度ガス) が天空上で典型的に 80% 程度以上の面積を占めることが明らかになった。このため、ランダムに分布する系外連続波点源の大部分は光学的に薄い中性水素ガスの方向に位置することになり、実際の中性水素量を過小評価する。輝線観測ははるかに大きな面積をサンプルするため、水素の定量は輝線観測によって正しく行なわれる。この知見は、他の点源方向の吸収測定一般においても、同様の過小評価が起きる可能性を示唆する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Q47a **21cm 線スペクトルを使った中性水素原子の定量: 数値シミュレーションとの比較 2**

早川貴敬, 岡本竜治, 山本宏昭, 立原研悟, 福井康雄 (名古屋大学), 鳥居和史, 井上剛志 (国立天文台)

水素は星間物質中で最も支配的な元素であり、精確な定量が宇宙、銀河、星間現象を理解する上で重要である。私たちはこれまでに、観測データ (HI 21cm 線、サブミリ波ダスト放射) から中性水素原子のスピンの温度、21cm 線光学的厚みを推定する方法を確立し、教科書記載の描像とは異なり、光学的に厚く低温の HI ガスが支配的であることを示してきた (例えば Fukui et al. 2015, ApJ 798, A6)。また、数値シミュレーションによる 3次元 HI ガスモデル (Inoue and Inutsuka 2012, ApJ 759, A35) を用い、輻射輸送方程式を計算して得た HI スペクトルを同じ手法で解析し、光学的厚みによる HI スペクトルのサチュレーションが再現されることや、Fukui et al. の方法で観測的に求められたスピンの温度が、同一視線にある成分の調和平均と一致することなどを示した (早川他 2015 年秋季年会)。

今回、以下の点について進展があったので、報告する。(1) 太陽系近傍の星間ガスを詳しくモデル化するために、水素分子の紫外線観測 (Gillmon et al. 2006) を用いて、モデルの最適化を行った。その結果、全柱密度に対する水素分子の寄与は小さく、いわゆる「ダークガス」は光学的に厚い水素原子によるものであり、水素分子で説明するモデルは支持されない。(2) 冷たい中性ガス (CNM) と温かい中性ガス (WNM) の質量比は、概ね 1 対 1 であった。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Q48a フィラメント状中性水素雲と星間磁場方向の強い相関の起源

井上剛志 (国立天文台)

アレジボ望遠鏡を用いて得られた中性水素ガス構造の詳細な形状解析から、柱密度で $N \sim 10^{19} \text{ cm}^{-2}$ 程度のフィラメント状の中性水素雲の向きと、星間磁場の方向に極めて強い相関があることが報告されている (Clark et al. 2014, 2015)。星間磁場の方向の推定は偏光観測を通した始原重力波の検証にとって極めて重要であり、特に Planck 衛星のデータがノイズに支配されている高銀緯で、この中性水素構造は新たな磁場推定のツールとなることが期待される。また、分子雲に見られるユニバーサルなフィラメント状構造の起源を理解する上でも重要になると考えられる。しかしながら、なぜ磁場方向とフィラメント状雲の構造に強い相関があるのかについての物理的理由は謎として残されている。

本研究では3次元の磁気流体シミュレーションによって、熱的不安定性で形成される小さな中性水素雲の構造は、非等方な乱流場による伸長効果によって局所磁場の方向と平行に引き伸ばされることを示す。このとき、磁場と雲形成の引き金となる衝撃波の角度について複数のパターンで計算を行っても結論は変わらないことも議論する。さらに、実際の観測と同様な構造解析の結果、中性水素フィラメントの方向と磁力線方向に極めて強い相関があることを示す。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Q49a **NRO 銀河面サーベイプロジェクト (FUGIN) : 2015 年度進捗**

梅本智文, 南谷哲宏, 鳥居和史, 水野範和, 本間希樹, Muller, E., 亀谷和久, 井上剛志, 廣田明彦, 諸隈佳菜, (国立天文台), 久野成夫, 藤田真司, 栗木美香 (筑波大), 半田利弘, 面高俊宏, 中西裕之, 新永浩子, 松尾光洋, 小澤武揚, 小出凧人 (鹿児島大), 松本尚子 (山口大), 大西利和, 徳田一起, 高橋諒 (大阪府大), 濤崎智佳, 小林幸典 (上越教育大), 小野寺幸子, 津田裕也 (明星大), 立原研悟, 西村淳, 佐野栄俊, 服部有祐, 吉池智史, 河野樹人 (名古屋大), 樋口あや (理研), 大朝由美子 (埼玉大), 大橋聡史, 桑原翔, 祖父江義明 (東京大), 坪井昌人, 山岸光義 (ISAS), Chibueze, J. (University of Nigeria)

我々は、星間ガスの進化と銀河系の構造の関係に関する研究を進めることを目的とし (2014 年秋季年会 Q30a)、野辺山宇宙電波観測所 45 m 鏡に搭載された広帯域 2SB の新マルチビーム受信機 FOREST を用いた銀河面の CO サーベイ観測、NRO レガシープロジェクト FUGIN (FOREST Ultra-wide Galactic plane survey In Nobeyama) を進めている。これは CO(1-0) 輝線による銀河面サーベイとしては、最も高い角分解能 ($\sim 18''$) を達成していると同時に、FOREST の広帯域を生かした世界初の $^{12}\text{CO}(1-0)$ 、 $^{13}\text{CO}(1-0)$ 、 $\text{C}^{18}\text{O}(1-0)$ の 3 輝線同時観測である。

観測目標である銀河系の棒状構造・渦状腕を含む銀経 $10^\circ - 50^\circ$ 、銀緯 $\pm 1^\circ$ の領域と、銀河系の外側の渦状腕を含む銀経 $198^\circ - 236^\circ$ 、銀緯 $\pm 1^\circ$ の領域のうち、2015 年度シーズンはそれぞれ 45 平方度と 31 平方度、合計 76 平方度の CO 3 輝線のデータを取得した。2013、2014 年度のデータと合わせると総観測領域は 118 平方度 (全体の 76%) に及ぶ。この観測により、これまでの銀河面サーベイでは知られていなかった、さらに広範囲にわたる分子雲の極めて詳細な構造のみならず、新たな分子雲衝突や超新星爆発との相互作用の兆候も明らかになった。本講演では、今シーズン行った観測の詳細、来シーズンの観測計画および将来のデータ公開等について報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Q50a **NRO 銀河面サーベイプロジェクト (FUGIN) : Spitzer バブル N18 における分子雲衝突と大質量星形成**

鳥居和史, 南谷哲宏, 梅本智文 (国立天文台), 藤田真司, 栗木美香, 久野成夫 (筑波大), 松尾光洋 (鹿児島大), 服部有祐, 西村淳, 河野樹人, 立原研悟, 福井康雄 (名古屋大), 濤崎智佳 (上越教育大), 津田裕也 (明星大), 大橋聡史 (東京大), FUGIN チーム

大質量星は強烈な紫外線、星風、超新星爆発により、星間空間に多大な影響をもたらすが、その形成過程は未だ十分に理解されていない。近年、NANTEN2, ASTE, Mopra 等を用いた観測により、分子雲衝突が大質量星形成に重要な役割を果たすことが指摘されている。2015 年、我々は赤外線で見事なリング構造を持つ HII 領域 RCW120 において、その励起星 (O8 型星) が、大小の分子雲の衝突によって作られたことを明らかにした。数値計算から、大小の分子雲の衝突により大きい分子雲に“空洞”が作られることが示されており、RCW120 の特徴的なリング構造は、この空洞内部で形成された大質量星からの紫外線が、空洞内壁を照らすことで作られたと理解できる。RCW120 のようないわゆる Spitzer バブルは銀河面に数 100 個同定されており、さらにサンプルを増やし進化過程を解明することは重要である。今回、銀河面の $(l, b) \sim (16.65^\circ, -0.35^\circ)$ に位置する Spitzer バブル N18 に着目し、NRO45m 鏡銀河面サーベイプロジェクト (FUGIN) によって得られた広域 CO データの解析を実施した。結果、N18 の赤外線構造に付随する分子雲を同定した。分子雲は視線速度 -43 km s^{-1} 付近に南北に伸びた分布しており、特徴的な V 字型の位置-速度図を示す。この V 字構造は、HII 領域でしばしば期待される膨張構造では解釈することができず、一方、数値計算から予言される 2 つの衝突分子雲が示す速度構造とよく一致する。本講演では、詳細な分子雲構造を示すと共に、分子雲衝突プロセスと励起星との関係を議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Q51a **NRO 銀河面サーベイプロジェクト (FUGIN) : 大質量星形成領域 W33 の CO 輝線観測 II**

河野樹人, 大濱晶生, 西村淳, 立原研悟, 福井康雄 (名古屋大), 梅本智文, 南谷哲宏, 鳥居和史 (国立天文台野辺山), 松尾光洋 (鹿児島大), 藤田真司 (筑波大), 山岸光義 (ISAS), FUGIN チーム

太陽の8倍以上の質量を持つ星は大質量星と呼ばれ、超新星爆発や紫外線を放射し、周囲の星間物質や銀河進化に大きな影響を与える。理論的に大質量星の形成メカニズムは“Competitive Accretion”と“Core Accretion”が提唱されているが、未だ明らかになっていない (Tan et al. 2014)。近年、NANTEN2による分子雲の広域観測の結果から、巨大星団や赤外線バブルにおいて、分子雲同士の衝突による大質量星形成が提案されている (Fukui et al. 2014, Torii et al. 2015)。我々は、大質量星形成の初期段階を解明することを目的として、コンパクト HII 領域、ホットコア、High-mass protostellar object を含む大質量星形成領域である W33 に着目し、野辺山 45m 望遠鏡で得られた、 ^{12}CO (1-0), ^{13}CO (1-0), C^{18}O (1-0) のデータ解析を行った。解析の結果、35 km/s, 45 km/s, 53 km/s の3つの速度成分を検出し、W33 Main で双極分子流を発見した (河野他 2015 年秋季年会発表)。今回、我々は、VLA で得られた電波連続波、Spitzer 8 μm , 24 μm 画像と分子雲の空間分布の比較を行った。また、W33 領域全体で、JCMT ^{12}CO (3-2) データ (Dempsey et al. 2013) と強度比を取った結果、35 km/s, 53 km/s の2つの速度成分が W33 付近で、 $R_{3-2/1-0} > 0.8$ となっており、W33 に付随している可能性が高いことがわかった。さらに、W33 領域全体で、35 km/s, 53 km/s の2つの速度成分が空間的に相補的な分布をしていることが明らかとなった。本講演では、W33 の星形成と分子雲同士の衝突の可能性について議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Q52a **NRO 銀河面サーベイプロジェクト (FUGIN) : 超新星残骸に付随する星間ガスに関する研究**

栗木美香, 久野成夫, 永井誠, 藤田真司 (筑波大), 佐野栄俊, 稲葉哲大, 山根悠望子, 吉池智史, 西村淳, 河野樹人, 福井康雄, (名古屋大), 瀬田益道 (関西学院大), 梅本智文, 南谷哲宏, 鳥居和史 (国立天文台), 松尾光洋 (鹿児島大), ほか FUGIN チーム

超新星残骸 (SNR) は、宇宙線加速源の最有力候補であり、ガンマ線や X 線で明るい SNR における星間ガスの探査が、宇宙線起源解明の鍵を握る。近年、ガンマ線と星間ガスの良い空間的一致が示され、宇宙線の主成分である陽子の加速が証明された (e.g., Fukui et al. 2012; Yoshiike et al. 2013)。また、SNR 衝撃波と周辺星間ガスの相互作用が乱流・磁場を増幅させ、シンクロトロン X 線の増光や宇宙線電子加速に影響を与えていることがわかってきた (e.g., Sano et al. 2013, 2015)。今回 NRO レガシープロジェクトの1つである FOREST Ultra-wide Galactic Plane Survey In Nobeyama (FUGIN) (角度分解能 ~ 18 秒角) の一環として、銀河面付近の SNR を高空間分解能のフルサンプリングで精査することで、視直径の小さな SNR (≤ 30 分角) への研究拡張が可能となった。

Kesteven 79 は、視直径 ~ 10 分角の Mixed-morphology 型 SNR である。熱的 X 線や GeV ガンマ線で明るいことから、星間ガスとの相互作用や陽子加速を探るうえで適している (e.g., Sun et al. 2004; Auchettl et al. 2014)。CO 及び HCO⁺ の観測から、分子雲の分布も明らかになっている (Green & Dewdney 1992)。今回我々は、NRO 45 m 鏡及び JCMT によって得られた ¹²CO ($J=1-0, 3-2$) データを用いて、Kesteven 79 方向の星間ガス分布を、かつてない空間分解能で明らかにした。結果として、X 線放射と相補的に分布する分子雲を複数同定し、そのうちの1つは輝線幅が 10 km s^{-1} 程度広がっており、これは衝撃波-星間ガス相互作用の特徴によく一致する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

【R. 銀河】

9月14日(水) 午前(11:00-13:00) [C会場]

R01a	11:00	Spatially-resolved SED and CO SLED of the merging LIRG NGC 1614	齊藤俊貴 (東京大学/国立天文台)
R02a	11:12	Physical conditions in the nuclear region of NGC 1614 revealed with ALMA	安藤未彩希 (総合研究大学院大学/国立天文台)
R03a	11:24	Ionized gas properties in the starburst region of NGC 253 uncovered by ALMA high spatial resolution millimeter observations	中西康一郎 (国立天文台)
R04a	11:36	5pc 分解能で見た近傍星形成銀河 NGC253 中心部の星形成活動の多様性	安藤亮 (東京大学)
R05a	11:48	衝突後期段階銀河 NGC 3256 の ALMA Band3 分子輝線探査	道山知成 (総合研究大学院大学/国立天文台)
R06a	12:00	Circumnuclear gas torus and star-forming regions in the starburst galaxy NGC 1808 imaged by ALMA	Dragan Salak (Kwansei Gakuin University)
R07a	12:12	Pc-scale observations of the circumnuclear molecular disk of Centaurus A	Daniel Espada (EA ALMA Regional Centre, NAOJ)
R08a	12:24	ALMA による近傍銀河 NGC 613 中心領域の多輝線観測	宮本祐介 (国立天文台)
R09c		フェルミ衛星によるスターバースト銀河からのガンマ線探査	吉田麻佑 (東海大学)
R10b	12:36	野辺山と ASTE による近傍高光度赤外線銀河の CO 分子観測	山下拓時 (宇宙航空研究開発機構)
R11b	12:36	遷音速銀河風モデルによる星形成率と銀河風速度の関係	五十嵐朱夏 (筑波大学)
R12b	12:36	Search for molecular gas in XUV disk of M83	Kana Morokuma (NAOJ)
R13a	12:48	最小スケールからの階層的構造形成とサブハロー	石山智明 (千葉大学)

9月14日(水) 午後(15:00-17:00) [C会場]

R14a	15:00	星とガスの金属量で探る矮小銀河のガス流出過程	本間英智 (国立天文台)
R15a	15:12	M31 North-Western ストリームの母矮小銀河の軌道探査	桐原崇巨 (筑波大学)
R16a	15:24	銀河の力学進化から探る超金属欠乏星の r プロセス元素組成	平居悠 (東京大学)
R17a	15:36	中性子星合体による r プロセスに基づくサブハローの確率論的進化	石丸友里 (国際基督教大学)
R18a	15:48	Far Distance to G7.47+0.06 from Proper Motion Measurement of H ₂ O Masers	山内彩 (日本学術振興会/国立天文台)
R19a	16:00	銀河系中心領域に存在する young, intermediate-age stars の起源の探査	岩松篤史 (東北大学)
R20c		銀河中心部の大質量天体と球状星団系の性質の関係 II. 銀河中心核星団	隈井泰樹 (熊本学園大学)
R21a	16:12	巨大ブラックホールによる中心核バルジ進化と小型 JASMINE による観測	矢野太平 (国立天文台)
R22a	16:24	Supermassive Black Hole Mass Estimation using Molecular Gas Dynamics	Kyoko Onishi (SOKENDAI)
R23a	16:36	銀河磁場解析における QU-fitting の性能評価	宮下恭光 (熊本大学)
R24a	16:48	重力レンズ効果を受けた銀河の像復元アルゴリズム (GLEAN) の開発 (1): CLEAN 的像復元機能の実装	石田剛 (東京大学)
R25c		「あかり」近・中間赤外線カメラによる、冷却用ヘリウム枯渇後の指向撮像観測データの公開	山下拓時 (宇宙航空研究開発機構)

(次頁に続く)

【R. 銀河】

9月15日(木) 午前(09:30-10:30) [C会場]

R26a	09:30	スイング増幅による渦状腕構造の形成とエピサイクル運動の位相同期 道越秀吾(筑波大学)
R27b	09:42	APOGEE red-clump star の解析から明らかになった銀河系円盤の化学動力学進化 豊内大輔(東北大学)
R28b	09:42	COSMOS 領域における中間赤方偏移 $H\beta+[OIII]$ 輝線天体サーベイ 西塚拓馬(東北大学)
R29b	09:42	近赤外線における銀河系内拡散光の銀緯依存性の発見 佐野圭(東京大学/宇宙航空研究開発機構)
R30a	09:54	NRO レガシープロジェクト COMING (7): プロジェクトの進捗状況報告 徂徠和夫(北海道大学)
R31a	10:06	NRO レガシープロジェクト COMING (8): 棒渦巻銀河 NGC 2903 における分子ガス密度と星形成効率の関係 村岡和幸(大阪府立大学)
R32b	10:18	NRO レガシープロジェクト COMING(9): 棒渦巻銀河 NGC 4088 における分子ガスの分布と運動 田中隆広(筑波大学)

R01a **Spatially-resolved SED and CO SLED of the merging LIRG NGC 1614**

齊藤俊貴 (東大, 国立天文台), 伊王野大介 (国立天文台, 総研大), 川邊良平 (国立天文台, 東大, 総研大), ほか NGC 1614 研究グループ

We present $1''.0$ ($= 330$ pc) resolution observations with ALMA band 3, 6, 7, and 9 toward the local merging galaxy NGC 1614. The system can be used as a template of starburst-dominated galaxies, because it shows little evidence for the presence of bright or Compton-thick AGN in the radio, mid-IR, and X-ray wavelengths. Based on modelings of the radio-to-FIR (4.8 - 691 GHz) spectral energy distribution (SED) and CO spectral line energy distribution (SLED; up to $J_{\text{upper}} = 6$), we found that the molecular gas ISM in the nuclear starburst ring can be expressed as a warm (> 140 K) and cold (20 K) components. This is consistent with the observed blackbody spectrum from a warm (110 K) and cold (35 K) dust. Mechanical heating from stellar feedbacks and a putative nuclear outflow is a possible source for heating the warm gas rather than photo-dominated region (PDR).

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

R02a Physical conditions in the nuclear region of NGC 1614 revealed with ALMA

安藤未彩希 (総研大/国立天文台), 伊王野大介 (総研大/国立天文台), 齊藤俊貴 (東大), 植田準子 (CfA), 道山知成 (総研大/国立天文台)

The interaction between gas-rich galaxies plays a fundamental role in the evolution of galaxies. This process triggers starburst and merging galaxies often become bright in IR luminosities. Since the role of the molecular gas in this mechanism is crucial, quantifying the physical condition of ISM is important for understanding mergers and galaxy evolution. Here we present high resolution ($\sim 1''$: ~ 310 pc) Atacama Large Millimeter/submillimeter Array (ALMA) line data of $^{12}\text{CO}(J=1-0, 2-1)$ and $^{13}\text{CO}(J=1-0, 2-1)$ in NGC 1614, which is a local luminous infrared galaxy and thought to be a late-stage merger. The differences in the distribution of these lines come from the differences in the excitation conditions and/or relative abundance ratio. By solving radiative transfer equation under the assumption of large velocity dispersion condition, we estimate the physical condition, such as kinetic temperature, H_2 number density and column density of each molecule, at several regions within the galaxy. We find that the molecular gas is cold (~ 40 K) and dense ($> 10^3 \text{ cm}^{-3}$) around the starburst ring, and becomes more diffuse at the outer regions. In addition, it is known that the ratio of low- J $^{12}\text{CO}/^{13}\text{CO}$ lines in luminous mergers is higher than normal spiral galaxies. We show the $^{12}\text{CO}/^{13}\text{CO}(J=1-0, 2-1)$ ratio maps and suggest an interpretation of their relation to interaction events.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

R03a **Ionized gas properties in the starburst region of NGC 253 uncovered by ALMA high spatial resolution millimeter observations**

中西康一郎 (国立天文台), 中井直正, 久野成夫 (筑波大), 河野孝太郎, 安藤亮 (東京大), 徂徠和夫 (北海道大), 松林和也 (京都大), 菅井肇 (東京大)

Radio recombination line observation is the optimal way to investigate ionized gas in starburst galaxies. The emission lines suffer much less interstellar extinction than those in optical and near-infrared wavelengths. However, limited numbers of radio recombination line observations in short millimeter and sub-millimeter wavebands have been performed until recently. That is mainly because their intrinsic intensities are much weaker than those in shorter wavelength. Nowadays, millimeter and sub-millimeter recombination lines can be observed with high sensitivity and high spatial resolution thanks to ALMA's superb sensitivity.

ALMA observations of hydrogen recombination line ($H30\alpha$) toward a nearby starburst galaxy NGC 253 were carried out with unprecedented high spatial resolution (10 pc). The ionized gas in the galaxy center starburst region is resolved into individual clumps, and they are thought to be accompanied by young massive-star clusters. By combining with archival data of millimeter wave (3-mm) continuum emission, the physical properties of ionized gas are estimated, and it turns out that the electron density and emission measure are similar to or even higher than those of Galactic Compact and Ultracompact HII regions. The continuum and recombination line emission fluxes indicate that the clumps contain up to one hundred O-type stars, and this suggests the clumps are aborning and/or infant super stellar clusters which are embedded in dense ionized gas.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

R04a **5pc 分解能で見た近傍星形成銀河 NGC253 中心部の星形成活動の多様性**

安藤亮, 河野孝太郎, 田村陽一, 泉拓磨, 谷口暁星 (東京大学), 中西康一郎 (国立天文台), 原田ななせ (台湾中央研究院), 高野秀路 (日本大学), 中島拓 (名古屋大学), 徂徠和夫 (北海道大学), 中井直正, 久野成夫 (筑波大学), 菅井肇 (東京大学), 松林和也 (京都大学)

多量の星間物質に覆われ、可視・近赤外域では強い減光を受けてしまうような、系外銀河中心部での活発な星形成活動を直接捉える上では、ミリ波サブミリ波帯でのダスト連続波や多様な分子輝線、再結合線の観測が強力な手法である。しかし、個々の星形成領域を空間分解し、その活動性や化学組成を調べるとともに、その性質を銀河系内の星形成領域と直接的に比較するためには、従来の観測装置では分解能・感度両面で不十分であった。

本研究では、近傍星形成銀河 NGC253 の中心 200 pc の領域について、ALMA を用いて先行研究より 5 倍以上高い空間分解能 ($0''.3$; 5 pc 相当) での 350 GHz 帯分光撮像観測を行った。その結果、850 μm 帯の連続波放射でトレースされる、ダストに覆われた 10 pc スケールの星形成領域 8 個が、2 本の平行な列状に分布する姿を初めて分解できた。各領域では CS、HCN 等の主要分子に加え、 H_3O^+ や H_2CO 等多種の輝線を検出した。10 pc 程度の間隔で隣り合う領域ごとでの輝線強度比には明瞭な差があり、特に赤外線輻射で振動励起された $\text{HNC}(J = 4 - 3, v_2 = 1f)$ と、HII 領域由来の水素再結合線 $\text{H}26\alpha$ との輝線比は、0.1 – 8 と大きなばらつきを示した。また各領域での輝線比を銀河系内の類似天体と比較すると、HCN の増加、SO の減少といった顕著な差異が存在した。以上の結果は、NGC253 中心部の各星形成領域が持つ個性を反映していると考えられる。この一因には加熱機構の差が挙げられ、大質量星が加熱する典型的な HII 領域以外に、大質量星が比較的少ない大規模な中質量星団が支配する領域の存在が示唆される。こうした星形成の多様性は、進化段階の違いや系内とは異なる進化過程に起因すると考えられる。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

R05a 衝突後期段階銀河 NGC 3256 の ALMA Band3 分子輝線探査

道山知成 (総研大/国立天文台), 伊王野大介 (総研大/国立天文台), 中西康一郎 (総研大/国立天文台), 植田準子 (CfA), 斉藤俊貴 (東大), 山下拓時 (宇宙研), 安藤未彩希 (総研大/国立天文台)

NGC 3256 ($L_{\text{bol}} = 4 \times 10^{11} L_{\odot}$, $D_L = 35$ Mpc) は衝突後期段階の銀河である。活発な爆発的星形成 (SB) 活動や活動銀河核 (AGN) 活動を伴っていると考えられており、これらは星間物質 (ISM) の化学組成に影響を与える。つまり、銀河の化学組成から SB や AGN の現在の状態や今後どのように継続するのかを調べることができる。Large Meter Telescope (LMT) を用いた NGC 3256 の分子輝線探査では、NGC 3256 は AGN を伴う銀河ではなく SB 銀河としての性質が強い傾向が見られた。しかし、X 線観測や CO 輝線の運動を用いた研究では、爆発的星形成銀河 (北側) と AGN を伴う銀河 (南側) の銀河が衝突している (離隔 = $5'' \sim 850$ pc) ことが示唆されている。この不整合は LMT 観測で 2 つの中心核を分離して観測できないことが原因と考えられる。

本講演では、2016 年 3 月に行った 85 ~ 110 GHz 帯における ALMA 分子輝線探査の最新観測結果を紹介する。2 つの中心核を分離するのに十分な空間分解能 ($\sim 2''$) で、20 輝線以上の検出 (例: $c\text{-C}_3\text{H}_2$, H^{13}CN , H^{13}CO^+ , SiO, CCH, HCN, HCO^+ , HNC, CH_3OH , CS, HC_3N , CH_3CCH , C^{18}O , ^{13}CO 等) に成功した。HCN/ HCO^+ 比 (or $\text{H}^{13}\text{CN}/\text{H}^{13}\text{CO}^+$ 比) は AGN 周辺で高くなる傾向が知られているが、NGC 3256 では AGN の存在が示唆されている南側の銀河ではなく、SB 銀河であると示唆されている北側の銀河で比が 1 に近づく傾向が見られた。また、ショックトレーサーとして知られている SiO や CH_3OH が 2 つの中心核の間で検出され、衝突面におけるショックの卓越を確認した。これらの結果を踏まえ、衝突活動や SB や AGN が NGC 3256 の化学組成に与える影響を議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

R06a Circumnuclear gas torus and star-forming regions in the starburst galaxy NGC 1808 imaged by ALMA

Dragan Salak¹, Yuto Tomiyasu², Naomasa Nakai², Yusuke Miyamoto³, Nario Kuno², and Hiroyuki Kaneko³ (1: Kwansai Gakuin University, 2: University of Tsukuba, 3: NAOJ)

Molecular gas plays an important role in star formation in galaxies. In starburst galaxies, vigorous star formation results in pronounced feedback in the form of stellar winds and supernova explosions that drive large-scale galactic winds. Although the relation between molecular gas and star formation has been studied extensively, high-resolution (< 100 pc), sensitive images of molecular gas in the central 1 kpc are limited to a few galaxies. Here we present our observations of the nearby (11 Mpc) starburst galaxy NGC 1808 carried out with the Atacama Large Millimeter/submillimeter Array in cycle 2. The central 1 kpc region of the galaxy was imaged in bands 3 and 7 at unprecedented angular resolution of $0.5''$ - $1''$ (~ 25 - 50 pc), yielding detections of continuum emission in $\lambda = 1$ mm and $\lambda = 3$ mm bands, and molecular lines CO ($J = 3 \rightarrow 2$) and HCO⁺ ($J = 4 \rightarrow 3$). The molecular gas in the nucleus was resolved for the first time into a circumnuclear torus of radius $r \sim 50$ pc, offset from an unresolved core. The rotation curve in the central 100 pc supports the presence of a massive ($\sim 10^7 M_{\odot}$) central object reported by Salak et al. (2016). The $\lambda = 3$ mm continuum image reveals a ring ($r \sim 200$ pc) located in the region of the nuclear spiral arms of molecular gas. The ring harbors HII regions (young star clusters) embedded in massive clouds. We suggest that star formation in the ring is driven by noncircular (inflow) motion of molecular gas from an outer cold gas reservoir at $r \sim 500$ pc.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

R07a **Pc-scale observations of the circumnuclear molecular disk of Centaurus A**

Daniel Espada (NAOJ)

We reveal the distribution and kinematics of the warm and dense molecular gas in the circumnuclear disk (inner $400 \text{ pc} \times 200 \text{ pc}$) of Centaurus A (NGC 5128) with resolutions of 5 pc ($0.3''$) and shed light onto the mechanism feeding the powerful active galactic nucleus residing in this elliptical galaxy from hundred parsecs down to the nuclear disk. We present CO(3–2), HCO+(4–3), HCN(4–3), and CO(6–5) emission line maps with 5 pc resolution obtained with the Atacama Large Millimeter Array. A large complexity is found in the distribution and kinematics of the molecular gas in the circumnuclear disk, including multiple streamers of tens or hundred of parsec scale, a ring-like structure with a diameter of 160 pc and two nearly parallel filamentary structures centered at the AGN with lengths of about 30 pc .

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

R08a ALMA による近傍銀河 NGC 613 中心領域の多輝線観測

宮本祐介 (国立天文台野辺山)、瀬田益道、Dragan SALAK (関西学院大)、中井直正、永井誠 (筑波大)、金子紘之 (国立天文台野辺山)

活動銀河中心核 (AGN)、爆発的星形成など銀河中心活動の理解には、その周囲ガスの運動、物理状態を明らかにすることが重要である。近傍銀河 NGC 613 は距離 17.5 Mpc にある低光度 AGN で、中心に分子雲トーラス ($r \sim 1''$ (85 pc)) とその周囲に星形成リング ($r \sim 3.5''$ (300 pc)) を持ち、比較的豊富なガスを有する。星形成リングは適度な傾き角 ($i \sim 41^\circ$) を持つため、中心領域のガスの分布と運動を詳細に調べることが可能である。また、これまでに 5GHz の電波連続波観測から中心からリング短軸方向に伸びるアウトフローの存在が示唆されている。

我々は、NGC 613 中心領域を ALMA Band 3 受信機 (周波数: ~ 90 GHz, 空間分解能: $\sim 0.6''$)、並びに Band 7 受信機 (周波数: ~ 350 GHz, 空間分解能: $\sim 0.35''$) を用いて観測した。我々の 85 GHz 連続波データと 5 GHz 連続波から求めたスペクトル指数 (α) はアウトフローで $\alpha \sim -0.7$ となりシンクロトロン放射の寄与が支配的である一方、星形成リング ($\alpha \sim -0.2$) では制動放射の卓越を示唆している。また高密度分子ガスの代表的トレーサーである HCN (1-0), HCN (4-3), HCO⁺ (1-0), HCO⁺ (4-3), CS (2-1), CS (7-6) の検出、イメージングに成功しており、分子雲トーラスの HCN (4-3)/HCO⁺ (4-3) や HCN (4-3)/CS (7-6) 輝線強度比はこれまでに報告された他の AGN 銀河 (例 NGC 1068) とほぼ同程度であることがわかった。本講演では複数輝線を用いた NGC 613 中心領域の分子ガスの物理状態解析結果についても述べる。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

R09c フェルミ衛星によるスターバースト銀河からのガンマ線探査

吉田麻佑, 櫛田淳子, 西嶋恭司 (東海大学)

スターバースト銀河は、星形成活動が非常に活発で短期間に大質量星 ($> 10M_{\odot}$) を大量に生成している銀河である。スターバースト銀河における星生成率 (Star Formation Rate:SFR) は我々の銀河系より約 10-100 倍高い。大質量星 (主に OB 型星) は紫外線を放射し、周囲のダストに吸収され赤外線を再放射するため、スターバースト銀河は赤外線で明るく輝いている。一方、宇宙線の起源はその発見以来謎であるが、宇宙線は銀河内のガスや輻射場との相互作用によりガンマ線を放射する。したがって、ガンマ線が宇宙線の起源のプローブとなり得る。銀河宇宙線の起源として超新星残骸が有力な候補と考えられている。大質量星は寿命が短いため高い頻度で超新星爆発が起きていることを考えると、スターバースト銀河では我々の銀河系に比べより多くの宇宙線が生成され、その結果として強いガンマ線を放出していると考えられる。

そこで本研究では、スターバースト銀河からのガンマ線を探索し、その強度と赤外線光度の相関を調べることにより、宇宙線の超新星残骸起源のヒントを得ることを目的とした。先行研究では、Fermi-LAT の 3 年間のデータを用いて 69 個の銀河について探索した結果が報告されている (Ackermann et al., 2012)。本研究ではそれら 69 天体に加え、IRAS 衛星のカタログ the IRAS Faint Source Catalog から赤外線の明るさが銀河系の光度に比べて十分高い ($> 10^{12}L_{\odot}$)、92 個の銀河を選び出し、全 161 天体を対象に Fermi-LAT の 8 年間のデータを解析することにより 0.1 GeV から 100 GeV のガンマ線を探索した。その結果、新たに IRAS16300+1558、IRAS20414-1651 の 2 天体からそれぞれ 5σ 以上の有意なガンマ線を検出した。本発表では、これらの解析結果とともにガンマ線光度 L_{γ} 、赤外線光度 L_{IR} 、星生成率 (SFR) の相関について議論する。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

R10b 野辺山とASTEによる近傍高光度赤外線銀河のCO分子観測

山下拓時 (JAXA 宇宙科学研究所), 小麥真也 (工学院大学), 齋藤俊貴 (東大), 道山知成, 伊王野大介 (総研大/国立天文台), 小山舜平 (東工大), 植田準子 (CfA), 金子紘之 (国立天文台)

近傍高光度赤外線銀河 (LIRGs) は赤外線光度が $10^{11} L_{\odot}$ 以上を持つ銀河であり、そのエネルギー源は爆発的星形成が支配的である。近傍 LIRGs は銀河合体の様々な段階にあるが、合体後期で特に明るい LIRGs が多いことや、合体の段階が進むにつれて赤外線放射領域がコンパクトになることなどから、その星形成は合体段階によって変化していることが期待される。

我々は、銀河合体に誘発された爆発的星形成がどのように進化するかを明らかにするために、野辺山望遠鏡とASTE望遠鏡を用いて近傍 LIRGs のCO分子輝線観測を行った。現在までに、79個のLIRGsからCO(1-0)を、20個からCO(3-2)を検出した。これまでの結果から星形成効率 ($\propto L_{\text{IR}}/L_{\text{CO}(1-0)}$) は、普通銀河に比べて高い一方で、合体の段階によらず一定であることが分かった。また、文献データと合わせることで、輝線比 CO(3-2)/CO(1-0) は、合体の段階が進むに連れて高くなる傾向があることが分かった。これらの結果の説明として、合体後期で付加的なガスの加熱機構の可能性が考えられる。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

R11b 遷音速銀河風モデルによる星形成率と銀河風速度の関係

五十嵐朱夏、森正夫（筑波大学）、新田伸也（筑波技術大学）

銀河からガスが流出する銀河風は、銀河そのものの進化だけでなく、銀河間空間の化学進化にも影響する重要な現象である。我々は、これまで解析的モデルを用いて遷音速銀河風の基本的性質について議論を行ってきた。その結果、ダークマターハロー質量分布やエネルギー量などによって、遷音速銀河風には2種類の遷音速解が存在することがわかった (Igarashi, Mori & Nitta 2014)。この2種類の遷音速解の存在は、銀河質量や星形成率などの違いが、銀河風加速過程を大きく変化させる可能性を示している。実際、ULIGs、LIGsを含むいくつかの星形成銀河では、銀河風速度が星形成率や銀河質量と比例関係があることが明らかになっている (Martin 2005)。本研究では、我々のモデルによってこれらの観測結果が再現できることを示す。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

R12b Search for molecular gas in XUV disk of M83

Kana Morokuma¹, Jin Koda², Tatsuya Takekoshi¹, Masao Saito¹, Hiroyuki Nakanishi³, Samuel Boissier⁴, Barry F. Madore⁵, Alessandro Boselli⁴, Armando Gil de Paz⁶, David Thilker⁷, Masafumi Yagi¹, Kazuo Sorai⁸, and Nario Kuno⁹ (1: NAOJ, 2: Stony Brook University, 3: Kagoshima University, 4: Laboratoire d'Astrophysique de Marseille, 5: Carnegie Observatories, 6: Universidad Complutense de Madrid, 7: Johns Hopkins University, 8: Hokkaido University, 9: University of Tsukuba)

We here report our deep CO(1-0) observations with the 45-m telescope at the Nobeyama Radio Observatory towards one of the brightest H II regions in the extended ultraviolet (XUV) disk of a nearby spiral galaxy, M 83. The H II region is located at $\sim 3x$ the optical disk radius, and its metallicity is as low as $0.3 Z_{\odot}$ (Bresolin et al. 2009). The mass of associated young stellar cluster (M_{\star}) is expected to be $\sim 5 \times 10^3 M_{\odot}$ according to our deep H α and optical broadband images taken with Suprime-Cam on the Subaru telescope (Koda et al. 2012). As a result, no apparent CO emission was detected after the 10.8-hrs integration. The achieved rms is 21.0 mK in T_{mb} scale over 0.32 km s^{-1} resolution. The upper limit for molecular gas mass (M_{mol}) is $6.2 \times 10^4 M_{\odot}$ assuming the Milky-Way X_{CO} and a Gaussian profile of CO emission with a peak of $2 \times \text{rms}$ and FWHM of 2.3 km s^{-1} . Our result suggests an 8x larger X_{CO} in the XUV disk than the Milky-Way value if we assume typical galactic disk SFE ($= \frac{M_{\star}}{M_{\star} + M_{\text{mol}}}$) of 1%. Otherwise we must conclude that SFE is elevated in XUV-disks compared to ordinary galactic environments in spite of their low gas densities.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

R13a 最小スケールからの階層的構造形成とサブハロー

石山智明 (千葉大学)

ダークマター粒子がニュートラリーノであれば、最小のダークマターハローは地球質量程度になると考えられている。これは粒子の自由運動によって密度揺らぎが減衰するためであり、これより小さいハローは形成しない。一方、小さいハロー程、銀河サイズのハローの中にサブハローとして存在する数が多くなることが知られている。したがって、こういった小さいハローの密度構造や空間分布は、銀河系内のダークマター位相空間分布を正確に評価する上で重要である。

我々はこれまでに、高分解能の宇宙論的 N 体シミュレーションを用いて、最小のハローの密度構造を調べてきた。それは密度がハロー中心から外側まで、中心からの距離の -1.5 乗程度に比例するカスプであり、従来考えられていた中心の冪が -1 程度の、いわゆる NFW プロファイルとは大きく異なることを明らかにした (Ishiyama et al., 2010)。また質量が大きくなるにつれて冪が徐々にゆるやかになり、 -1 に漸近していく傾向を見出してきた (Ishiyama, 2014)。

本研究では、最小スケール付近のハローの構造形成進化史や、これらハローがサブハローとして大質量のハローの中に存在する場合の内部構造や空間分布を調べた。孤立したハローとして存在する同じ質量スケールのハローと比較すると、密度プロファイルの冪が平均的にはわずかにゆるやかで、中心集中度は高い傾向にあることがわかった。本講演ではこれらの結果について報告するとともに、最小スケール付近のハローがダークマター間接検出実験や直接検出実験に与えるインパクトについて議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

R14a 星とガスの金属量で探る矮小銀河のガス流出過程

本間英智 (国立天文台)

矮小銀河における HII region や星の分光観測によって、矮小銀河の金属量が測定されてきている。我々の研究グループではこれまで、独自に作成した化学進化モデルを用いて、矮小銀河で測定された星の金属量分布を説明し、その化学進化について調べてきた。そして矮小銀河で合成された重元素のうち、80–99 % が銀河の外へ捨てられていることが、これまでの研究から分かった。しかしモデルでは、重元素を捨てるために激しいガスの流出が必要となるのに対して、実際の矮小銀河においては顕著なガス流出は観測されていない。また矮小銀河におけるガス流出過程について、流体シミュレーションを用いた研究からは、超新星から出た重元素は星間ガスよりも流出しやすいことが報告されており、これは化学進化モデルで設定した仮定とは異なっている。そこで我々は化学進化モデルを用いて、ガスの流出過程をいくつかのパターンで計算し、矮小銀河のガス流出量や金属量がどのように変化するか調べた。その結果、超新星から出た重元素が星間ガスとよく混合せずに流出した場合は、十分に混合する場合と比べて、モデルが予測するガス流出量は抑えられるものの、HII region で観測される (N/O) や (C/O) を過大評価することが分かった。これは、O や Fe など主に超新星で合成される重元素が多く流出するのに対して、C や N など主に中小質量星で合成される重元素が星間ガスに残りすぎるためである。従って、矮小銀河で観測されるガス流出と金属量を同時に説明するためには、流体シミュレーションで報告されるようなガス流出とは異なる過程が必要である。本講演では、我々の化学進化モデルによる計算結果を報告し、矮小銀河における重元素の流出過程について議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

R15a M31 North-Western ストリームの母矮小銀河の軌道探査

桐原 崇亘, 三木 洋平, 高橋 瞭太, 森 正夫 (筑波大学)

近年のアンドロメダ銀河 (M31) ハローの詳細な観測により, M31 の北西側に 100kpc を超える細長い恒星ストリーム (NWS: North-Western Stream) が発見された (McConnachie +2009)。そのような巨大な恒星ストリームは, 銀河に付随するダークマターの重力場を調べるツール (Deg & Widrow 2013; Kiriwara +2014) や, Λ CDM モデルに基づく構造形成の数値シミュレーションで生じる, ダークマターのサブハロー問題に対する観測側からの検証 (Carlberg +2011 他) のツールとして威力を発揮することが期待される。恒星ストリームをダークマターを探るツールとして用いるためには, あらかじめ恒星ストリームの母矮小銀河の性質や軌道を理論・観測の両面から制限しておく必要がある。しかしながら, 軌道要素を制限するには 6 次元位相空間におけるパラメータ探査が必要となるため, 容易ではない。

一方で, Veljanoski et al. (2014) により, NWS に沿った位置に発見された 7 個の球状星団のうち 5 個で, その視線速度に相関が見られることが報告された。本研究では, 上記の 5 個の球状星団が NWS の母矮小銀河に付随していたものと仮定し, NWS の視線速度に制限をつける。そして, テスト粒子を用いた系統的な軌道サーベイを行うことで, 母矮小銀河のとりうる軌道を調べた。その結果, 許されるすべての軌道で, 近点距離が 10 kpc を超えることが明らかとなった。さらに, NWS の母矮小銀河を粒子分布で表現した N 体シミュレーションでは, これまでのところ, 母矮小銀河は少なくとも 1 回, 近点と遠点通過を経験しなければならないことが分かった。本講演では, 上記の結果を報告し, 時間が許せば母矮小銀河のサイズや質量に関する制限についても議論する予定である。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

R16a 銀河の力学進化から探る超金属欠乏星の r プロセス元素組成

平居悠 (東京大学), 石丸友里 (国際基督教大学), 斎藤貴之 (東京工業大学), 藤井通子 (東京大学), 日高潤 (明星大学), 梶野敏貴 (国立天文台, 東京大学)

超金属欠乏星における r プロセス元素組成は、星により r プロセス元素量と鉄の比に大きな分散がある。有力な r プロセス起源天体である連星中性子星合体は、1 億年程度の長い合体時間を有しており、鉄に比べて遅れて r プロセス元素を放出する。これらの天体による r プロセス元素組成は銀河形成初期の力学進化を強く反映する可能性がある。しかし、銀河の力学進化と r プロセス元素の化学進化の関係は未だ明らかになっていない。そこで本研究では、重力・流体計算コード、ASURA を用いて、初期中心密度が $0.005 - 0.1 M_{\odot} \text{pc}^{-3}$ 、全質量 $3.5 - 35.0 \times 10^8 M_{\odot}$ の銀河に関して r プロセス元素の進化を計算した。その結果、中心密度が低く、力学時間の長い銀河ほど低い金属量で r プロセス元素が現れた。こうした銀河では、銀河進化初期に超新星爆発による加熱効果が十分に効くため、星形成率が $10^{-3} M_{\odot} \text{yr}^{-1}$ 程度に抑制されている。そのため、化学進化がゆっくりと進み、金属量が低く、金属量の空間分布が不均一なうちに連星中性子星合体が起こり、低い金属量で r プロセス元素組成の分散が現れる。一方、中心密度が高く、力学時間の短い銀河では、銀河進化初期に活発に星形成を起こし、連星中性子星合体が起こる前に金属量が高くなるため、高い金属量で小さい分散の r プロセス元素分布が現れる。以上の結果は、銀河の全質量には依存しない。本研究は、銀河の中心密度が銀河の初期の星形成率と r プロセス元素の進化に大きく影響しており、 r プロセス元素を持つ超金属欠乏星は、中心密度が $\lesssim 0.01 M_{\odot} \text{pc}^{-3}$ 、星形成率 $\lesssim 10^{-3} M_{\odot} \text{yr}^{-1}$ の銀河で形成されたことを示唆する。高分散観測で個々の銀河の r プロセス元素組成の分散が現れ始める金属量を測定することにより、銀河の初期進化を明らかにする手がかりが得られる可能性がある。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

R17a 中性子星合体による r プロセスに基づくサブハローの確率論的化学進化

石丸友里, 小嶋琢也 (国際基督教大学), 和南城伸也 (上智大学), N. Prantzos (IAP)

鉄よりも重い元素の大半は、早い中性子捕獲過程 (r プロセス) で作られるが、その起源天体は今も特定されていない。最新の元素合成理論からは、連星中性子星合体が有力視されている (Just+2014, Wanajo+2014 等)。ところが、銀河系ハローの金属欠乏星で、 r プロセス元素のユーロピウム (Eu) の鉄に対する相対組成比 $[\text{Eu}/\text{Fe}]$ に大きな分散が見られることを、中性子星合体説では説明が困難だと言われてきた (Argast+2004 等)。中性子星合体には、少なくとも1億年程度は要すると見られることから、金属欠乏星が形成された時期には、まだ Eu が銀河に存在し得なかったと考えられてきたのである。

しかし Ishimaru, Wanajo, Prantzos (2015) は、階層的構造形成論に従って、銀河系ハローがサブハローの衝突・合体から形成されたならば、この問題が解決し得ることを指摘した。すなわち、金属欠乏星に見られる $[\text{Eu}/\text{Fe}]$ の分散は、サブハローによる星形成史の違いに起因することになる。小規模なサブハローで星形成率が低ければ、金属量が高くなる前に中性子星合体が起こり始めるであろう。また中性子星合体の頻度は極めて低いため、特に小規模なサブハローでは中性子星合体の発生回数の差が、相対組成比 $[\text{Eu}/\text{Fe}]$ の違いに現れるはずである。そこで本研究では、この仮説に基づいて、中性子星合体の発生回数・時期を確率論的に考慮したサブハローの化学進化モデルを構築した。その結果、サブハローの規模による星形成史の違いで、銀河系ハローの金属欠乏星の化学組成比の分散を良く説明できることが示された。この結果は、 r プロセスの起源天体が中性子星合体であることを強く支持する。さらに最近報告された低輝度矮小銀河 Reticulum II で r プロセス元素組成比が著しく高いことについても (Roederer+2016, Ji+2016)、統一的なサブハローの化学進化モデルを用いて議論を行う。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

R18a **Far Distance to G7.47+0.06 from Proper Motion Measurement of H₂O Masers**

山内彩 (1,2), 山下一芳 (2), 本間希樹 (2), 砂田和良 (2), 中川亜紀治 (3), 上野祐治 (2) (1:日本学術振興会, 2:国立天文台, 3:鹿児島大学)

我々は、国立天文台の VLBI 観測網 VERA を用いて、超コンパクト HII 領域 G7.47+0.06 に付随する 22 GHz 水メーザーを観測し、距離測定を行った。その結果を報告する。

G7.47+0.06 は、視線速度による運動学的距離が 10 kpc を越える遠方天体である。我々は 2009–2011 年に観測を行い、3 つのメーザー成分の位置変化を追跡したが、このデータで年周視差を測定し距離を求めるのは難しい。3 成分の内部固有運動は検出されなかった。しかし、天体の絶対固有運動は検出された。絶対固有運動は天球面上で銀河面に平行で、銀経 0 度方向に $\mu = -5.03 \pm 0.07 \text{ mas yr}^{-1}$ で近づく。

銀経 0 度付近で、銀河系中心よりも遠い領域の天体は、視線速度よりも固有運動を用いたほうが精度よく距離を求めることができる。我々が測定した固有運動を用い、銀河回転曲線と太陽の特異運動を考慮して、天体までの距離を求めた結果、 $D = 20 \pm 2 \text{ kpc}$ となった。

最後に、先行研究では運動学的距離の近傍解 6.3 kpc を用いて推定されていた HII 領域の物理パラメータを、距離 20 kpc を用いて換算した。換算の結果、水メーザー成分は、スペクトル型 O5.5 の大質量星形成領域に付随していた。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

R19a 銀河系中心領域に存在する young, intermediate-age stars の起源の探査

岩松篤史, 板由房 (東北大学), 西山正吾 (宮城教育大学)

銀河系の中心から 0.5pc 以内の領域には若い星 (\sim Myr) が密集している。しかし、その起源は明らかになっていない。有力視されている形成過程の 1 つは、銀河中心から離れた領域で星団が形成されて、力学的摩擦で中心まで移動する、というものである。Nishiyama & Schödel (2013) は、銀河中心から 0.5 \sim 3pc の範囲に若い星の候補天体を発見した。分光観測の結果、これらは 50 \sim 500Myr の intermediate-age stars であるとわかった (Nishiyama et al. 2015)。この領域の大多数の星 ($>$ Gyr) とは年齢が異なるため、これらは中心に向かって移動している星団の残骸である可能性がある。

本研究では、固有運動を使って星団の残骸の有無を明らかにするため、2012 年にすばる望遠鏡/IRCS+AO188 で撮像観測を行った。観測領域は、intermediate-age stars を含む 14 視野である。intermediate-age stars は、銀河中心に多く存在する赤色巨星 (\sim Gyr) とは異なる時期に形成された。intermediate-age stars とその周りの星が星団の残骸である場合、それらは星団本来の運動を保持している。したがって、赤色巨星に対し特異な固有運動を示す集団を発見できたら、星団の残骸であると言える。

固有運動検出の可能性を議論するため、視野にある星の位置の相対的な精度の測定を行った。14 視野について測定を行った結果、典型的な位置精度は 2.3 \sim 4.0mas であった。intermediate-age stars を含む星団の残骸の固有運動を、銀河系中心領域のアーチ星団の固有運動 (\sim 5mas/yr) と同程度だと仮定する。この場合、2012 年の観測時から現在まで、星団の残骸は \sim 20mas 移動していると考えられる。この仮定の上では、2016 年に追観測を行うと固有運動を $5\sigma \sim 8\sigma$ で検出できる。また、等級や画像上の位置と各星の位置精度に相関があることを確認できた。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

R20c 銀河中心部の大質量天体と球状星団系の性質の関係 II. 銀河中心核星団

隈井泰樹 (熊本学園大学)

我々は、銀河中心核星団 (NSC) や大質量ブラックホールなどの銀河中心部の大質量天体 (CMOs) の形成・進化に対して親銀河の球状星団系 (GCS) が及ぼす影響を観測的見地から解明することを目的として、様々な文献から観測データを収集して近傍銀河の GCS と CMOs の基本的性質の関係について統計的調査を行って来た (2015年日本天文学会秋季年会 R32c で報告)。今回、我々は特に NSC とその親銀河の GCS のそれぞれの性質の関係に着目してより詳しい調査を行い、以下のような結果を得た。

(1) おとめ座銀河団の早期型銀河に対して、それらの球状星団を色によって赤い星団 (RC) と青い星団 (BC) の二つのグループに分けた場合、RCs の方が BCs に比べて、星団数と NSC の質量の間の正の相関がより tight である。親銀河のタイプ別にみると、BC の数と NSC の質量については矮小楕円銀河が楕円銀河や S0 銀河よりも tight な相関を示す。

(2) GCS における RC の数の比率が比較的高い早期型銀河で、低質量の、あるいは親銀河全体の星との質量比が小さい NSC を持つものは稀である。

(3) 球状星団の総質量と NSC 質量の比が大きな銀河ほど、銀河全体の星の質量に占める NSC の質量割合が小さい。この傾向は早期型銀河の場合、RCs でも BCs でも見られる。また、矮小楕円銀河の場合、他のタイプの銀河よりも同じ (球状星団/NSC) 質量比に対して (NSC/銀河の星) 質量比が高い傾向にある。

本講演ではより詳しい結果を述べると共に、これらの新知見に基づいて、球状星団への力学的摩擦などを始めとする GCS の形成・進化の過程が NSC の形成・進化に及ぼす影響について議論する予定である。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

R21a 巨大ブラックホールによる中心核バルジ進化と小型JASMINEによる観測

矢野太平, 郷田直輝, 辻本拓司 (国立天文台), 谷川衝 (東京大学), 山田良透 (京都大学), ほか
JASMINE ワーキンググループ同

銀河バルジの中心にある巨大ブラックホールの形成過程の解明において、銀河形成における標準理論である階層的銀河形成モデル、すなわちコールドダークマターモデルに従えば、現在観測される銀河は銀河形成期の小さいスケールの銀河同士が衝突合体を繰り返し、時間とともに大きいスケールの銀河となったと考えられている。また、銀河形成期においても銀河中心にブラックホールが観測されていることを考慮すると、銀河やそのバルジが成長するとともに、銀河中心の巨大ブラックホールも合体形成し、成長してきた事が示唆される。そこでもし、銀河系中心核バルジで巨大ブラックホールが合体プロセスにより形成されたとすると、ブラックホールの合体形成過程における力学的摩擦の効果によりブラックホールまわりの中心核バルジ領域における星の位置や運動に影響を与える。したがってバルジ領域における星の位相分布関数を詳細に調べることによって形成過程を明らかにすることができる。本講演では、ブラックホールの影響により、周りの星の位相分布関数がどのように影響を受けるのかを調べるとともに、現在、計画が進められている赤外線位置天文観測衛星小型 JASMINE によりどのような観測が可能なのかを議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

R22a **Supermassive Black Hole Mass Estimation using Molecular Gas Dynamics**

Kyoko Onishi (SOKENDAI), Satoru Iguchi (SOKENDAI, NAOJ), Timothy Davis (Cardiff University), Martin Bureau (University of Oxford), Michelle Cappellari (University of Oxford), Marc Sarzi (University of Hertfordshire), Leo Blitz (University of California Berkeley)

Recent mm/submm interferometers have accomplished enough angular resolution and sensitivity to study the mass distribution in the galaxy using molecular gas dynamics. We have developed a new method to derive supermassive black hole (SMBH) mass by using molecular gas dynamics (Davis et al. 2013, Onishi et al. 2015, etc.). Unlike other direct SMBH mass measurement techniques, molecular gas kinematics is applicable to all galaxy types. This relatively new method will bring large sample that allows detailed studies of the M-sigma relation, and will eventually shed light on the co-evolution of galaxies and SMBHs. We present a couple of examples for SMBH mass estimation using molecular gas dynamics observed with mm/submm interferometers, including ALMA.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

R23a 銀河磁場解析における QU-fitting の性能評価

宮下恭光、中川晶太、出口真輔、高橋慶太郎

銀河磁場は、銀河の構造や進化を調べる上で重要なツールの一つである。銀河磁場の視線構造を解析する手法として、観測量である偏波スペクトルから視線上の偏波強度・磁場分布(ファラデースペクトル)を構成するファラデーモグラフィという手法がある。そして、ファラデースペクトルを推定する手法の一つとして、我々は QU-fitting と呼ばれる手法を活用している。QU-fitting は、ファラデースペクトルのモデルを仮定し、観測量との整合性を比較しながら最適なモデルを選択する手法である。一般的に、モデルフィッティングの結果を判断するためには、ある統計的指標が用いられており、我々はその統計的指標として Akaike's Information Criterion(AIC) や Bayesian Information Criterion(BIC) を用いている。本研究では、QU-fitting の結果を判断する統計的指標が本当に正しい結果を示すか調べるために系統的なシミュレーションを行った。そして、推定したファラデースペクトルのモデルパラメーターがどの程度正しく見積もられているか定量的に調べることで、QU-fitting が実際にはどの程度信頼できるものなのか調べた。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

R24a **重力レンズ効果を受けた銀河の像復元アルゴリズム (GLEAN) の開発 (1): CLEAN 的像復元機能の実装**

石田剛, 田村陽一 (東京大学), 河野孝太郎 (東京大学), 大栗真宗 (東京大学), 廿日出文洋 (国立天文台), 松田有一 (国立天文台), 林将央 (国立天文台)

本講演では、多重像フィットを用いた重力レンズ効果の新しい像復元アルゴリズム (GLEAN) の開発のうち、最初のステップである CLEAN 的像復元機能の実装とその適用結果について述べる。既存の像復元アルゴリズムの多くは、像平面上での多重像の対応を特定せずそれらをまとめて復元しているため、ソース平面上で異なる PSF が重なりあい、結果位置決定精度が悪くなっている。その点を改善すべく、2015 年の田村らによる論文では多重像の位置を数十個特定し、それらのフィットによって高解像度な像復元を実現している。ただし、この手法は多重像の同定を手作業で行なっており、復元されるソースの数が限られる。そこで本研究では多重像の情報を用いた高解像度の像復元アルゴリズム (GLEAN) を考案した。この手法は電波干渉計の deconvolution 手法の CLEAN に着想を得ており、観測された像の最も明るい点に対応するソース位置を計算、多重像全てのモデル画像を出力し、元の画像から減算することを繰り返すことで像復元を行なう。また、像復元には既知の質量分布を用いる。このアルゴリズムを 2014 年に ALMA による長基線で観測された $z = 3.042$ のサブミリ波銀河、SDP.81 に対して適用した。用いたデータは 1.0 mm の連続波画像、CO と H₂O の積分強度図であり、S/N の高い連続波画像については先行研究同様クランプ状の構造がよく再現され、CLEAN 的像復元機能が良好に働くことが確認できた。一方で、CO と H₂O に関しては S/N が悪く解像度も低いため、像平面上でモデルの多重像の位置が観測されたものとずれる様子が散見された。したがって、GLEAN の次のステップである多重像フィットの実装も不可欠である。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

R25c 「あかり」近・中間赤外線カメラによる、冷却用ヘリウム枯渇後の指向撮像観測データの公開

山下拓時 (JAXA 宇宙科学研究所), 「あかり」データ処理解析チーム, 「あかり」IRC チーム

赤外線天文衛星「あかり」は全天サーベイ観測に加えて、近・中間赤外線カメラ (IRC) による指向撮像観測を行った。IRC は $2\ \mu\text{m}$ から $30\ \mu\text{m}$ までをカバーする 9 つの連続的な撮像フィルターを持つ。液体ヘリウム枯渇後は、このうち 2, 3, 4 μm 帯での撮像観測が行われた。

指向観測結果は、これまで生データと解析ツールキットのみの公開であったため、ユーザーがデータを利用するためには専門的な知識と技術が必要であった。そこで我々は、較正処理済みデータを公開することを目的として、解析ツールキットの改良とデータ作成を行った。液体ヘリウム冷却期の IRC 指向撮像観測データは 2015 年 3 月に公開され (Egusa et al. 2016)、今年 2016 年 4 月には、新たに液体ヘリウム枯渇後の約 4200 回観測の処理データが公開された。観測ターゲットは、南北黄極領域、近傍銀河、LMC、系内星形成領域、銀河団などが多い。この液体ヘリウム枯渇期間に特徴的な現象であるホットピクセルの増加と、検出器温度の時期変動に伴う感度変化の問題解決に取り組んだ結果、画像スタック及び座標付けの成功率が向上し、またフラックス較正の精度が向上した。本発表では、液体ヘリウム枯渇後の IRC 指向撮像観測の公開データについて、データの紹介及びデータ利用方法について紹介する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

R26a スイング増幅による渦状腕構造の形成とエピサイクル運動の位相同期

道越秀吾 (筑波大学), 小久保英一郎 (国立天文台)

スイング増幅は、渦状腕構造がシアによって巻きつくときに、自己重力の影響によって、その振幅が増幅される現象である (Goldreich and Lynden-Bell 1965)。非定常で腕の多い渦状腕構造の形成は、スイング増幅によって説明される可能性がある。しかし、これまでのところ、スイング増幅によって形成される腕の構造が定量的にどのような性質をもっているか、またそれらの定量的関係が物理的にどう解釈されるかはよくわかっていない。

そこで、まず線形理論 (Julian and Toomre 1966) を用いて、スイング増幅によって形成される腕の性質 (密度振幅増幅率、ピッチ角、波長) を Q 値とシア率の関数として求めた。それらは N 体シミュレーションによって形成される渦状腕構造とよく一致する。これらの関係を用いると、スイング増幅で形成される渦状腕構造の本数は、シア率やピッチ角、円盤の質量に関係していることが導かれる。

次にこれらの関係が、物理的にどう解釈されるかを調べるため、Toomre (1981) のスイング増幅のモデルを再検討した。これは、渦状腕構造の振幅の時間発展を、振動数が時間変化する振動子として表すモデルである。Toomre (1981) の式の導出過程や数値計算方法を再検討した結果、無矛盾なモデルを構築するには、初期に過度摂動がないこととリダクションファクターが負にならないことが必要であることがわかった。このモデルを用いて運動を解析した結果、スイング増幅により星のエピサイクル運動の位相が同期することがわかった。この位相同期現象は、スイング増幅を理解するための基本的なメカニズムである可能性がある。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

R27b APOGEE red-clump star の解析から明らかになった銀河系円盤の化学動力学進化

豊内大輔, 千葉柁司 (東北大学)

最新の銀河系内大規模赤外分光サーベイである Apache Point Observatory Galactic Evolution Experiment (APOGEE) によってこれまでとは比べ物にならないほどの大量の星について正確な視線速度、アバンドランスの情報がもたらされた。本研究ではこの APOGEE サンプルの中でもとりわけ位置決定精度の高い red-clump (RC) star を用い、銀河系円盤の化学動力学進化を調査する。

我々はまず APOGEE-RC 星の $[\text{Fe}/\text{H}]$, $[\text{O}/\text{Fe}]$ の値と化学進化モデルを比較することによってサンプル星ひとつひとつに年齢と形成した半径 (R_{form}) を割り当てた。これらの情報をもとに、現在観測される半径 (R_{obs}) と R_{form} の関係や視線速度分布の解析から導いた速度分散プロファイルといった力学的性質を年齢の関数として調べた。その結果、おおよそ年齢が 8 Gyr を境に古い星と若い星で大きく性質が変化することがわかった。本発表ではこれらの解析結果とそこから予想される銀河系円盤の化学動力学進化の概要について紹介する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

R28b

COSMOS 領域における中間赤方偏移 $H\beta+[OIII]$ 輝線天体サーベイ

西塚拓馬 (東北大学), 平野洸 (東北大学), 村山卓 (東北大学), 谷口義明 (放送大学), 鍛冶澤賢 (愛媛大学), 小林正和 (呉工業高等専門学校), 長尾透 (愛媛大学)

赤方偏移 $z < 1$ 程度以下の宇宙においては、時間とともに星形成率が低下すると共に、星形成率 (SFR) や比星形成率 (sSFR) の環境依存性が見られることが知られている。今回、我々は $z < 1$ における sSFR の高い銀河の環境効果の進化を明らかにすることを目的に、最新の COSMOS 測光カタログの解析を行った。この測光カタログには、COSMOS 領域全体にわたるすばる望遠鏡 Suprime-Cam の 12 枚の中帯域フィルター (IA フィルター) の測光値があるため、IA フィルターの超過天体を選択することで様々な強輝線天体の選出が可能である。

特定の IA フィルターで超過の見られる天体の内、SED フィッティングの信頼できる $\chi_r^2 \leq 0.5$ ものについて 166 が天体得られた。選出された 166 天体の内、 $H\beta+[OIII]$ 輝線天体が 153 個、 $H\alpha+[NII]$ 輝線天体が 12 個、 $[OII]$ 輝線天体が 4 個、 $MgII$ 輝線天体が 2 個であり、赤方偏移は $0.121 \leq z_{ph} \leq 0.974$ の範囲であった。また、静止系の等価幅は $53 \text{ \AA} \leq EW_0 \leq 687 \text{ \AA}$ であり、特に 100 \AA 以上の天体が 136 天体、 300 \AA 以上の天体が 11 天体、 500 \AA 以上の天体が 3 天体であった。

本研究では、特に多く検出された $H\beta+[OIII]$ 輝線天体について、周辺環境と EW_0 との関係を調べたが、相関は見られなかった。本講演では、形態や環境的性質と輝線及び連続光スペクトルから見積もられる星形成との関連についても述べる。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

R29b 近赤外線における銀河系内拡散光の銀緯依存性の発見

佐野圭（東京大学/宇宙航空研究開発機構）、松浦周二（関西学院大学）、津村耕司（東北大学）、白籟麻衣、新井俊明（株式会社ジェネシア）、大西陽介（東京工業大学）

銀河系内拡散光は、星間ダストによる星光散乱と熱放射から成り、星間ダストの性質（サイズ分布、アルベド、散乱の異方性）を制限するのに有用である。散乱光と熱放射の両成分が混在する近赤外線の銀河系内拡散光の測定は重要だが、そのためには他の明るい拡散放射成分である星光と黄道光を正確に評価する必要がある。そこで我々は、Cosmic Background Explorer (COBE) 衛星に搭載された観測装置 Diffuse Infrared Background Experiment (DIRBE) によって得られた全天の拡散放射マップを用いて、近赤外線の拡散放射成分の再解析を行った。その結果、近赤外線の銀河系内拡散光を $100\ \mu\text{m}$ ダスト放射と一次相関する成分として抽出することに成功した。さらに、 $100\ \mu\text{m}$ ダスト放射に対する近赤外線 1.25 、 $2.2\ \mu\text{m}$ の銀河系内拡散光の輝度が、低銀緯領域ほど大きくなることを発見した。この現象は、星間ダストの前方散乱によって生じることが予想されるので、前方散乱を考慮した散乱光モデルと比較することにより、前方散乱の強さを導出した。その結果得られた前方散乱の強さは、従来の星間ダストモデルによる予測値よりも強い。また、散乱光成分以外にダストからの熱放射成分によっても、銀河系内拡散光の銀緯依存性が生じる可能性がある。しかし、従来用いられるダストモデルによると、近赤外線におけるダストからの熱放射成分と $100\ \mu\text{m}$ ダスト放射の比は、星間輻射場が強い低銀緯領域ほど小さくなることが予想される。この傾向は、銀河系内拡散光と $100\ \mu\text{m}$ ダスト放射の比の銀緯依存性と逆であるため、従来のダストモデルから予想される近赤外線の熱放射成分では、得られた銀緯依存性を説明することは困難である。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

R30a

NRO レガシープロジェクト COMING (7) : プロジェクトの進捗状況報告

俣徠和夫 (1), 久野成夫 (2), 村岡和幸 (3), 中井直正 (2), 宮本祐介 (4), 金子紘之 (4), 中西裕之 (5), 柳谷和希 (3), 田中隆広 (2), 富安悠人 (2), 齊田智恵 (5), 上野紗英子 (5), 諸隈佳菜 (4), 松本尚子 (6, 4), Dragan SALAK(7), 武田美保 (3), 畠山拓也 (2), 岸田望美 (1), 江副聡一 (5), PAN, Hsi-An(8), 他 COMING メンバー (1: 北海道大学, 2: 筑波大学, 3: 大阪府立大学, 4: 国立天文台, 5: 鹿児島大学, 6: 山口大学, 7: 関西学院大学, 8: 台湾中央研究院)

私たちの研究グループは、銀河における分子ガスの分布、運動、物理状態が銀河の形態に依存するのかどうか、また、これらの分子ガスの性質や環境効果が星生成とどのように関係するのかということ多数の銀河の観測から統計的に明らかにすることを目指して、国立天文台野辺山宇宙電波観測所の 45 m 電波望遠鏡に搭載されたマルチビーム受信機 FOREST を使った近傍銀河の大規模な分子ガス撮像観測 (CO Multi-line Imaging of Nearby Galaxies = COMING) を昨年 4 月より開始している。昨年 12 月から本年 5 月までの第 2 シーズンでは 45 銀河の観測を完了し、これまでに得た銀河サンプルは合計 50 天体となった。これは、当初予定から遅れてはいるものの CO 輝線の撮像観測としては既に過去の探査観測の規模を凌駕するものとなっている。加えて、複数輝線の同時観測により、これまで観測例がごく限られていた銀河全体に渡る分子ガスの物理状態の導出が多数の銀河で可能となっている。現在、銀河の円盤部からの弱い輝線を正確に検出するために、スペクトルの信号域やベースラインのうねりを客観的に評価する方法の確立や、広汎なデータの利用を見込んで基本観測量を自動的に導出するツールの整備を進めながら、データ解析を進めている。本講演では、本格的な観測が始まったプロジェクトの進捗状況と今冬からの観測計画について報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

R31a NRO レガシープロジェクト COMING (8) : 棒渦巻銀河 NGC 2903 における分子ガス密度と星形成効率の関係

村岡和幸, 武田美保, 柳谷和希 (大阪府立大学), 岸田望美, 徂徠和夫 (北海道大学), 畠山拓也, 田中隆広, 富安悠人, 久野成夫, 中井直正 (筑波大学), 齊田智恵, 上野紗英子, 中西裕之 (鹿児島大学), 金子紘之, 宮本祐介, 諸隈佳菜 (国立天文台), 松本尚子 (山口大学/国立天文台), Dragan SALAK (関西学院大学), 他 COMING メンバー

2015 年秋季年会において、我々は、COMING で取得した棒渦巻銀河 NGC 2903 の $^{12}\text{CO}(1-0)$ および $^{13}\text{CO}(1-0)$ マップを示し (柳谷ほか) さらに IRAM/HERACLES による $^{12}\text{CO}(2-1)$ マップを組み合わせて導出した、分子ガスの物理状態についての報告を行った (武田ほか)。今回、視線速度のずれを考慮した CO スペクトルのスタッキング解析を行うことで、CO 輝線強度比と分子ガスの物理状態を高い精度で導出できたので、それを報告する。

まず、NGC 2903 を 9 つの領域 (中心、南北それぞれのバー、バーエンド、渦巻腕、および腕間領域と円盤外縁部) に分け、各領域において CO スペクトルのスタッキングを行った。これにより、各 CO スペクトル (特に ^{13}CO) の S/N を劇的に改善し、2 つの輝線強度比: $^{12}\text{CO}(1-0)/^{12}\text{CO}(2-1)$ ($R_{2-1/1-0}$) および $^{13}\text{CO}(1-0)/^{12}\text{CO}(1-0)$ ($R_{13/12}$) を高い精度で得た。Large Velocity Gradient 近似に基づき、 $R_{2-1/1-0}$ と $R_{13/12}$ から分子ガスの密度 (n_{H_2}) を計算すると、NGC 2903 の中心では $n_{\text{H}_2} = 3700 \text{ cm}^{-3}$ という高い値を得たが、それ以外の領域では $n_{\text{H}_2} = 1000 - 2000 \text{ cm}^{-3}$ 程度であった。さらに我々は、各領域での星形成効率 (単位ガス質量あたりの星形成率) を計算し、 n_{H_2} が星形成効率とよく相関することを見出した。これは、分子ガス密度 (もしくは高密度ガス存在比) が星形成効率を支配するという、従来の HCN や high- J CO の観測から得られた結果を支持する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

R32b NRO レガシープロジェクト COMING(9) : 棒渦巻銀河 NGC 4088 における分子ガスの分布と運動

田中隆広, 久野成夫, 畠山拓也, 富安悠人, 中井直正 (筑波大学), 徂徠和夫, 岸田望美 (北海道大学), 村岡和幸, 武田美保, 柳谷和希 (大阪府立大学), 中西裕之, 齊田智恵, 上野紗英子, 江副聡一 (鹿児島大学), 金子紘之, 宮本祐介, 諸隈佳菜 (国立天文台), 松本尚子 (山口大学 / 国立天文台), Dragan SALAK (関西学院大学), PAN Hsi-An (台湾中央研究院), 他 COMING メンバー

我々は、野辺山 45 m 電波望遠鏡に搭載されたマルチビーム受信機 FOREST を用いて、近傍銀河の CO サーベイプロジェクト、COMING(CO Multi-line Imaging of Nearby Galaxies) を推進している。本講演では 2015-2016 年シーズンの成果の一部である NGC 4088 の観測の初期成果について報告する。

NGC 4088 は距離が約 15 Mpc にある棒渦巻銀河であり、NGC 4085 との初期段階の相互作用銀河であると考えられている。また、銀河中心から北西に約 7 kpc の場所に渦状腕から分離された領域を持っている。紫外線観測から渦状腕および分離領域での星形成活動が報告されており、赤外線観測によりダストに覆われた星形成領域が銀河中心および腕上の数カ所に分布していることも知られている。今回、我々は初めて NGC 4088 全面の CO マッピング観測を渦状構造を分解し得る空間分解能 ($\sim 20''$ (1.5 kpc)) で行い、分子雲の分布を調べた。その結果、分子ガスは銀河の中心領域、棒状構造、腕、分離領域に存在していることが明らかになった。また、相互作用銀河ではあるが速度場に大きな乱れは見られず、外側の腕では速度幅が 20~30 km/s と小さくなっていることがわかった。本講演では、主に他波長のデータと分子ガスの分布を比較した結果について報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

【S. 活動銀河核】

9月14日(水) 午前(11:00-12:48) [B会場]

S01a	11:00	ARTIST コードによるブラックホール時空での一般相対論的輻射輸送シミュレーション 高橋芳太(国立高専機構苫小牧高専)
S02a	11:12	ALMA による銀河系中心ミニスパイラルの観測 坪井昌人(宇宙航空研究開発機構)
S03a	11:24	Swift 衛星の硬 X 線サーベイデータに基づくブレーザーの logN-logS 分布の構築 戸田皓陽(広島大学)
S04a	11:36	GeV - TeV ガンマ線データによる HBL 天体の平均 SED と TeV ガンマ線背景放射の赤方偏移分布 田中康之(広島大学)
S05a	11:48	相対論的ジェットのガンマ線発生領域は磁場優勢? 物質優勢? -Fermi-LAT、NuSTAR によるブレーザー観測から- 林田将明(東京大学)
S06a	12:00	位置天文で探るブレーザー Mrk 501 のジェット軸から外れた構造の起源 小山翔子(Max-Planck-Institut für Radioastronomie)
S07a	12:12	電波銀河 3C84 のシェルにおけるガンマ線、宇宙線生成について 紀基樹(KASI)
S08a	12:24	Mass Loading Efficiency and Particle Acceleration Efficiency of Relativistic Jets: Cases For Low Luminosity BL Lacs 井上芳幸(宇宙航空研究開発機構)
S09a	12:36	AGN ジェットの進化と FR I/II 分類について 藤田裕(大阪大学)

9月14日(水) 午後(15:00-16:36) [B会場]

S10a	15:00	日韓共同ミリ波帯 VLBI 観測による 3C 84 のサブパーセクスケール吸収円盤の発見 輪島清昭(韓国天文研究院)
S11a	15:12	パーセクスケール電波ローブの非対称性から探る 3C84 の中心核構造 川勝望(呉工業高等専門学校)
S12a	15:24	ALMA サブミリ波偏波観測で探る Centaurus A の質量降着流 永井洋(国立天文台)
S13a	15:36	ALMA による近傍 AGN NGC1068 のトーラスに付随する分子ガスの検出 今西昌俊(国立天文台)
S14a	15:48	SDSS の Stripe 82 領域のクエーサーの変光観測 和田一馬(京都大学)
S15a	16:00	クエーサー紫外-可視域スペクトル中の偏光成分と変光成分の関係 小久保充(東京大学)
S16a	16:12	COSMOS 領域における高光度赤外線銀河の遠赤外線光度と活動銀河核光度の関係 松岡健太(京都大学)
S17b	16:24	近傍電波銀河 NGC 1052 の HCN J=1-0 吸収線インフロー 澤田-佐藤聡子(茨城大学)
S18b	16:24	ALMA を用いたサブミリ波帯水素再結合線観測による活動銀河核広輝線領域の探査可能性の検討 泉拓磨(東京大学)
S19b	16:24	全天 X 線監視装置 MAXI と赤外線天文衛星「あかり」による近傍活動銀河核の X 線・赤外線診断 磯部直樹(東京工業大学)
S20b	16:36	モンテカルロ輻射輸送計算によるクランピートーラスからの X 線スペクトルモデルの作成 谷本敦(京都大学)
S21b	16:36	可視光短時間光度変動を用いた低質量銀河中心ブラックホール探査 諸隈智貴(東京大学)
S22b	16:36	セイファート 1 型銀河の広帯域 X 線スペクトル変動に対する統一的な解釈 楠絵莉子(東京大学/宇宙航空研究開発機構)

(次頁に続く)

【S. 活動銀河核】

9月15日(木) 午前(09:30-11:06) [B会場]

S23a	09:30	X線スペクトル変動解析による NGC 4051 のアウトフロー構造の制限	水本岬希 (宇宙航空研究開発機構/東京大学)
S24a	09:42	活動銀河核アウトフローによる星間ガスへのフィードバックの磁気流体計算	朝比奈雄太 (国立天文台)
S25a	09:54	ブラックホール降着円盤周辺に存在する層雲の安定性	板西佑介 (大阪教育大学)
S26a	10:06	超高光度赤外線銀河 UGC 5101 の広帯域 X線スペクトル解析	小田紗映子 (京都大学)
S27a	10:18	硬 X線 (> 10 keV) 選択された適度に吸収を受けた活動銀河核の「すざく」による広帯域 X線スペクトルの系統的解析	川室太希 (京都大学)
S28a	10:30	「すざく」衛星による宇宙エックス線背景放射の軟ガンマ線観測	寺田幸功 (埼玉大学)
S29a	10:42	IC4329A における時間変動を用いたモデル依存しない成分分解 (3)	三宅克馬 (東京大学)
S30a	10:54	挟輝線 1 型セイファート銀河 NGC 4051 の X線スペクトル時間変動解析	清野愛海 (東京大学)

S01a **ARTIST コードによるブラックホール時空中での一般相対論的輻射輸送シミュレーション**

高橋 芳太 (国立高専機構 苫小牧高専), 梅村 雅之 (筑波大)

ブラックホール周囲の降着流・噴出流での物理過程を理解するためには、湾曲時空中での輻射輸送の効果を正確に把握する必要がある。これは、輻射の効果は降着流・噴出流の力学的構造や熱力学的構造に重要な影響を与えることがある上に、観測量からブラックホール近傍で起こっている物理過程を明らかにする際には輻射場の相対論効果を見捨てることのできないためである。本研究では、ブラックホール時空中での輻射輸送方程式を直接数値計算することで、一般相対論的な光子輻射場を正確に解くことが可能な数値シミュレーション・コード (ARTIST) を開発した。この数値コードでは、位相空間中で定義される不変輝度を直接数値計算することで、光子の放射・吸収・散乱の全ての過程を因果律を厳密に保って解くことが可能である。また、測地線に沿った長特性線法を用いて計算しているため、数値的な拡散がない。光学的に厚い状況では光子散乱の効果を無視することができないが、本コードでは光子の運動量空間積分を直接数値計算することで散乱過程の in-coming 光子と out-going 光子を計算した。また、光学的に薄い状況では光子球の近傍やエルゴ領域内で起こる一般相対論効果を無視することができないが、本コードは過去の一般相対論的レイ・トレーシング計算の結果を全て正確に再現することが可能である。ブラックホール近傍で光が放出される場合には、光子球近傍を回り続ける光子軌道があるために、輻射衝突が起こり続けるが、本コードではこれらの輻射衝突も計算することができることを確認した。講演では、本コードで用いている計算アルゴリズムと光子の放射・吸収・散乱の効果を含んだ複数のテスト計算の結果を紹介する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

S02a **ALMA による銀河系中心ミニスパイラルの観測**

坪井昌人, 北村良実 (宇宙研), 上原顕太 (東京大), 宮崎敦史, 三好真 (国立天文台), 宮脇亮介 (桜美林大), 堤貴弘 (NRAO)

我々はアタカマミリ波サブミリ波干渉計 (ALMA) の Cy.1 で銀河系中心ミニスパイラルや 50 km s^{-1} 分子雲を含む $330'' \times 330''$ の広い領域を $2''$ を切る高分解能で観測した. その結果、分子輝線に加えて、 $\text{H}42\alpha$ 水素再結合線によるイメージが得られた. $\text{H}42\alpha$ 輝線はミニスパイラルと 50 km s^{-1} 分子雲に付随するコンパクト H_{II} 領域で検出されたが、今回はミニスパイラルの観測について報告する.

ミニスパイラルは銀河系中心を約 2pc の半径で取り巻く分子リングの内側にある電離ガスの流れであると考えられている. これまでに VLA, SMA などによる再結合線観測により、その運動はアームと呼ばれる構造ごとに異なり、SgrA*の周りをそれぞれケプラー運動していると解釈されている. 今回は ALMA による、これまでにない高感度観測であるため、各アーム及び SgrA*近傍で速度チャンネルマップに加えて、詳細な位置速度図を描くことに成功した. 得られた主な結果は以下のとおりである. 1) 北アーム、東アーム、西アームはケプラー運動しているとして基本的に矛盾がない. 2) バーと呼ばれる SgrA*近傍の構造も独立してケプラー運動している可能性が高い. 3) 東アームと北アームの衝突が提唱されていたが、2成分の運動は独立していると解釈する方が妥当であり、相互作用の証拠は発見できなかった. 4) SgrA* の極近傍 (Bondi 半径以内) に -400 km s^{-1} に達する高速度成分を検出した. これは SINFONI による赤外線観測の結果と一致する.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

S03a **Swift 衛星の硬 X 線サーベイデータに基づくブレーザーの logN-logS 分布の構築**

戸田皓陽（広島大学）, 井上芳幸（宇宙開発研究機構宇宙科学研究所）, 深沢泰司（広島大学）, 田中康之（広島大学）

ブレーザーとはジェットを有する活動銀河核のうち、ジェットが視線方向を向いている天体である。ブレーザーは中心に大質量ブラックホールが存在すると考えられているが、その形成進化は未だ謎である。ブレーザーの進化過程を解き明かす手がかりが、logN-logS 分布や赤方偏移分布・光度分布である。logN-logS 分布とは、ある明るさ以上の天体数をその明るさに対してプロットしたもので、logN-logS 分布からブレーザーの宇宙論的進化の傾向を調べ、さらに赤方偏移分布・光度分布を用いることで、ブレーザーの形成時期をより詳細に調べることができる。また logN-logS 分布や赤方偏移分布・光度分布の情報から、ブレーザーの光度関数を構築することができ、ブレーザーの宇宙論的進化についてより詳細に議論することができる。

本研究では Swift 衛星の 70 ヶ月間硬 X 線サーベイデータを使用し、ブレーザーの logN-logS 分布および、赤方偏移分布・光度分布の構築を行った。得られた結果を 22 ヶ月間の Swift 衛星のデータを使用した過去の研究 (Ajello et al, 2009) と比較したところ、天体サンプル数が増加したことにより両者の結果に差が生じた。また、Fermi 衛星のガンマ線サーベイデータを使用した過去の研究結果 (Ajello et al, 2012) とも比較したところ、今回の結果はガンマ線での結果とほぼ無矛盾であることが示唆された。これは 22 ヶ月間の Swift 衛星のデータを使用した過去の研究とは大きく異なる点である。本公演では上記の結果について報告するとともに、ブレーザーの光度関数についても議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

S04a **GeV - TeV ガンマ線データによる HBL 天体の平均 SED と TeV ガンマ線背景放射の赤方偏移分布**

田中康之 (広島大学), 井上芳幸 (ISAS/JAXA), 深沢泰司 (広島大学)

フェルミ衛星によって 0.1–820 GeV の領域でガンマ線背景放射の精密測定が行われ (Ackermann et al. 2015)、ブレーザー、電波銀河、スターバースト銀河の 3 つの population によって説明可能であることが報告されている (Ajello et al. 2015)。この先行研究では、ブレーザーの SED 形状について broken power-law が仮定されていたが、High-frequency-peaked BL Lac 天体 (HBLs) については平均 SED が観測的に決定されておらず、その仮定を検証する必要があった。

我々はフェルミ 4 年カタログ (3FGL catalog, Acero et al. 2015) と地上の大気チェレンコフ望遠鏡で sub-TeV ガンマ線が検出されており、Swift/BAT の硬 X 線サーベイでも検出されている HBL 13 天体について、静穏時の SED を構築し、平均 SED の導出を行った。その結果、100 GeV 付近にピークを持つ broken power-law でよく表されることを見出し、先行研究 (Ajello et al. 2015) で仮定されていた SED のスペクトル形状が、実際に観測的にもほぼ正しいことを確認した。

さらに、これらのサンプルについて dI/dz (エネルギーフラックスの赤方偏移分布) を計算したところ、その分布は、EBL (Extragalactic Background Light) による吸収とコンシステントであり、2 次ガンマ線など、EBL 吸収による gamma-ray horizon を超えた領域からの寄与は見えなかった。本講演ではこれらの結果を示し、現カタログの source detection completeness や、将来の CTA などによって検出が予想されるソースの赤方偏移などを議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

S05a 相対論的ジェットのカンマ線発生領域は磁場優勢？ 物質優勢？ –Fermi-LAT、NuSTAR によるブレーザー観測から–

林田将明 (東大宇宙線研), G. Madejski, R. Blandford (SLAC/KIPAC), K. Nalewajko (CAMK)

相対論的ジェットは、活動銀河核中心の超巨大ブラックホールをエネルギー源として噴き出し、内部にて荷電粒子を高エネルギーにまで加速する宇宙の「巨大な加速器」として知られている。そのジェットの起源は未だ謎であるが、近年のシミュレーション研究の進展や新しい観測結果により、その謎の解明へと着実に進んでいる。

例えば、ジェット生成機構としては、磁場を介した機構が現在主流となり (Blandford-Znajek 過程など)、磁気流体力学によるジェット形成シミュレーションが盛んに行われている。この場合、ジェット根元は『磁場エネルギー優勢』となり、実際、超長基線電波干渉計による最近観測からも、それを支持する結果も得られている。一方で、フェルミ衛星 (Fermi-LAT) による高エネルギーガンマ線の観測にて、最短で分スケールの非常に速い変動性の発見や、逆コンプトン散乱成分がシンクロトロン放射に対して時に2桁以上も卓越することから、ジェット根元 ($10^{2-3} R_s$) でも『物質運動エネルギー優勢』であることを示唆し、上記シミュレーションや電波観測結果の解釈とは必ずしも合致しない。特に、ジェットのエネルギーは高エネルギーガンマ線にて卓越しており、ジェットのエネルギー散逸過程の全体像を理解するには、「高エネルギーガンマ線」放射起源の理解が最重要である。

本講演では、ブレーザー観測、3C279 にて 2013-2015 年に Fermi-LAT が観測したガンマ線フレアのまとめ、PKS2155-304 に対する NuSTAR 衛星による硬 X 線も含んだ新しい多波長観測結果を示し、ジェットは磁場優勢か?物質優勢か?、現状の問題点を整理し議論する。また、現在建設中の次世代チェレンコフ望遠鏡計画 Cherenkov Telescope Array にて、この問題に関して何が迫れるかについても紹介したい。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

S06a 位置天文で探るブレーザー Mrk 501 のジェット軸から外れた構造の起源

小山翔子 (MPIfR), 紀基樹 (KASI), 土居明広 (ISAS), 新沼浩太郎 (山口大), 永井洋, 秦和弘 (NAOJ), E. Ros (MPIfR), M. Giroletti, G. Giovannini, M. Orienti (IRA/INAF)

活動銀河核ジェットの形成機構の謎に迫るためには、最も根元の領域における詳細な構造とその性質を探ることが重要である。ジェットを真正面から観測するブレーザーは、ジェット根元のわずかな変化が増幅されて観測される可能性がある。近年、高分解能ミリ波 VLBI によるブレーザーの観測から、これまでに観測されたセンチ波帯のジェット流の向き (ジェット軸) と大きく異なる方向にジェット成分が捉えられ始めている (Lu et al. 2014)。このような特異なジェット構造が、ジェットの形成機構にどのように関連しているのか、まだよくわかっていない。

我々は、最近傍で最も明るい TeV ブレーザー Mrk 501 を対象に、VLBA 7 mm で 2012 年から 2013 年に渡り全 6 回の観測を行った。全エポックのイメージから、これまで観測されていた南東方向のジェットに対してほぼ垂直方向に、新成分 NE が存在することを発見した (Koyama et al. 2016)。しかし、精密な位置情報の不足から、ジェット軸から外れた成分の運動や物理量を十分に調査することはできなかった。

今回新たに、位置天文観測による計測を加え、遠方位置基準天体に対する Mrk 501 の電波コアの位置を精度良く測定した。空間分解能の数分の一にあたる位置決定精度約 40 マイクロ秒角を達成した。Mrk 501 の電波コアは約 200 マイクロ秒角の範囲内にあり、有意に動いていないことがわかった。さらに、位置天文観測の結果とイメージング解析の結果を組み合わせることで、新成分 NE の位置はランダムに分布し、系統的な運動を示していないことがわかった。この結果に基づき、新たに発見された成分 NE の起源についても議論を行う。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

S07a 電波銀河 3C84 のシェルにおけるガンマ線、宇宙線生成について

紀基樹 (KASI), 伊藤裕貴 (理研), 輪島清昭 (KASI), 川勝望 (呉高専), M. Orienti (IRA/INAF), 永井洋 (NAOJ), 伊藤亮介 (広島大)

活動銀河中心核から噴出するジェットは相対論的プラズマ物理の実験場である。噴出したジェットの残骸（電波ローブ）が持つ散逸エネルギーによって順行衝撃波が駆動されて衝撃波領域（シェル）が形成されることが理論的に知られている。しかし、一般に電波ローブ放射がシェル放射を圧倒的に凌駕するため、シェル放射の検出は極めて難しく、その物理状態はほとんど分かっていない。

そこで今回われわれは、断続的なジェット噴出を繰り返すユニークな天体として知られる近傍の電波銀河 3C84 に着目し、1960 年頃のジェット噴出で形成され現在は減光している電波ローブに付随するシェルの観測可能性を調べた。まず、VLBA のアーカイブ観測データ (15GHz) および、日韓合同 VLBI 網 (KaVA) の観測データ (43GHz) から、減光している電波ローブの膨張速度および、2005 年頃に再噴出したジェットの残骸で形成されるミニ電波ローブからのシンクロトロン放射光度を求めた。次に、シェルの放射スペクトルモデル (伊藤他 2015) と得られた観測情報を組み合わせ、3C84 のシェルで予言される典型的な放射スペクトルを計算した。

その結果、以下のことが分かったので報告する。(i) 低密度の一樣周辺物質の中で形成されるシェルは、ミニ電波ローブからの明るいシンクロトロン放射を種光子とした逆コンプトン散乱の光度が、次世代のガンマ線天文台 CTA で検出可能な光度に達する。(ii) 高密度のプラズマトーラス状物質の中で形成されるシェルは、そこで磁場増幅機構が働く場合には磁場強度が 10 ミリガウス程度にまで達し、VLBI の高感度観測で検出可能な光度に達する。また、この場合シェルは 10^{18} eV 程度までの宇宙線加速源になり得る。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

S08a

Mass Loading Efficiency and Particle Acceleration Efficiency of Relativistic Jets: Cases For Low Luminosity BL Lacs

井上芳幸 (宇宙科学研究所), 田中康之 (広島大学)

Relativistic jets launched by supermassive black holes, so-called as active galactic nuclei (AGNs), are known as the most energetic particle accelerators in the universe. However, the baryon mass loading efficiency onto the jets from the accretion flows and the particle acceleration efficiency in the jets have been veiled in mystery. With the latest data sets, we perform multi-wavelength spectral analysis of quiescent spectra of 13 TeV gamma-ray detected high-frequency-peaked BL Lacs (HBLs), which are nearby low power AGN jets, following one-zone static synchrotron-self-Compton (SSC) model. We determine the minimum, cooling break, and maximum electron Lorentz factors following the diffusive shock acceleration (DSA) theory. In the talk, we will report our analysis results on the magnetization and the radiative efficiency of the jets. We also report the relation between the accretion and the jet of the HBL populations. Furthermore, we also investigated the particle acceleration efficiency of low power AGN jets in the blazar zone by including the most recent *Swift*/BAT hard X-ray spectral data. We found that our HBL samples ubiquitously have the particle acceleration efficiency of $\eta_g \sim 10^{4.5}$, which is inefficient to accelerate particles up to the ultra-high-energy-cosmic-ray (UHECR) regime in the jets. This implies that the UHECR acceleration sites should be other than the blazar zones of quiescent low power AGN jets, if one assumes the one-zone SSC model based on the DSA theory. (arXiv:1603.07623)

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

S09a AGN ジェットの進化と FR I/II 分類について

藤田裕 (大阪大学), 川勝望 (呉高専), Isaac Shlosman (ケンタッキー大学)

AGN ジェットが長く伸びるためには、まず AGN が存在している銀河中心部のガス密度が高い領域をジェットが突破する必要があるが、果たして観測から見積もられているジェットのパワーで実際に突破できるのかどうか評価を行った。サンプルとしては銀河団の中心にある 28 個の AGN を用い、ジェットのパワーは銀河団ガス中にジェットが過去の活動で作った空洞のサイズから見積もったものを使用した。ジェットの進行については、ジェットが作る空洞内部の圧力でジェットが伸びる場合 (FR I 的進化) と、ジェットの運動量でジェットが周囲のガスを押しつつ伸びる場合 (FR II 的進化) を考えた。銀河中心部のガス分布は簡単なモデルを用い仮定した。

評価の結果、銀河中心部のガス分布の仮定によらず、パワーが $\lesssim 10^{44} \text{ erg s}^{-1}$ のジェットは FR II 的には伸びることができず、FR I 的に伸びることがわかった。これは銀河団中では FR I タイプのジェットが多く観測されている観測事実と合う。またジェットが銀河団ガス中に作る空洞のサイズについても評価を行った。その結果、ガス中のジェットの進化から予想される空洞のサイズと、実際に観測されている空洞のサイズには、大きな矛盾はないこともわかった。さらにパワーが $\gtrsim 10^{44} \text{ erg s}^{-1}$ のジェットの一部は、銀河団内部であっても FR II タイプとして進化できることも明らかにした。

Ref: Fujita, Kawakatu, & Shlosman, 2016, PASJ, 68, 26

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

S10a 日韓共同ミリ波帯 VLBI 観測による 3C 84 のサブパーセクスケール吸収円盤の発見

輪島清昭, 紀基樹 (韓国天文研究院), 川勝望 (呉高専), GENJI プログラムメンバー

AGN の巨大ブラックホール周囲に存在するプラズマ円盤の構造を観測により直接明らかにすることは AGN 中心部でのジェット形成・放出やエネルギー移送のしくみに迫る上で本質的である。これまで主にセンチ波帯での多周波 VLBI 観測により近傍の AGN において 10 pc 程度のスケールのプラズマ円盤の存在が明らかになっているが、AGN の活動性を規定する中心領域に迫るためには 1 pc 以下のスケールでの構造解明が求められる。

我々は 2015 年 8 月より韓国 VLBI 観測網 (KVN) および KVN と VERA で構成される日韓 VLBI 観測網 (KaVA) を用いて電波銀河 3C 84 ($z = 0.0176$, $1 \text{ mas} = 0.36 \text{ pc}$) のミリ波帯モニタ観測を行っている。KVN および KaVA を用いることにより、1 pc を切るスケールで 3C 84 の中心構造を高感度で空間分解することが可能である。一連のモニタ観測のうち、本発表では両周波数でほぼ同時に実施した観測の結果を中心に報告する。

観測は 2016 年 2 月 22 日 (KaVA 43 GHz) および 23 日 (KVN 86 GHz) に実施した。両周波数での電波写真において、従来のセンチ波～ミリ波帯 VLBI 観測でも見られるコア (C1) および南に約 3 mas 離れて位置するローブ (C3) に加え、C1 から北に約 2.5 mas 離れて位置する新たな成分 (N1) を発見した。N1 の検出レベルは 43, 86 GHz とともに 6σ で、2 周波間で光学的に厚いスペクトルを示している。従来の観測で得られている C3 の見かけの速度は光速の約 23% であり、南北ローブの構造・運動の対称性を仮定すると N1 がビーミング効果により暗くなっている可能性は低い。以上より、これらの観測結果は C3 に対応するカウンターローブからの放射が中心ブラックホール周囲のプラズマ円盤または高密度雲により低周波側で強い吸収を受けているものと考えられる。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

S11a パーセクスケール電波ローブの非対称性から探る 3C84 の中心核構造

川勝望 (呉高専), 紀基樹 (KASI), 輪島清昭 (KASI), 和田桂一 (鹿児島大), 長尾透 (愛媛大)

超巨大ブラックホール近傍 (< 1 パーセク) のガスの性質を調べることは、ブラックホールへのガス降着過程や中心核の遮蔽構造の起源を探る上で重要である。これまで、多波長スペクトル (電波 ~ X 線) を用いて、ブラックホール近傍の情報を得る試みはなされてきたが、非常に高い空間分解能を必要とするため、パーセクスケールの物理状態を直接調べることは困難であった。一方で、近年、電波の VLBI 観測により、電波ローブ (< 10 パーセク) を持つ若い電波銀河が見つかってきている。若い電波銀河の中で特に若い 3C84 の 5 パーセクスケールの電波ローブは非対称構造をしており、その起源は電離ガス円盤による自由・自由吸収で説明できる (Walker et al. 2000)。我々は、2005 年頃に新しく形成された、さらにコンパクト (< 1 パーセク) な電波ローブ周辺での遮蔽構造を探るために、を日韓合同 VLBI 観測網 (KaVA) の 43GHz 帯において深いイメージング観測を行っているが、電波ローブの北側のカウンター成分の大部分は隠されたままである。

本講演では、自由・自由吸収に対する光学的厚みやトムソン散乱による光学的厚みが 1 以上の制限より、ブラックホール周辺のガスの構造や性質について調べた。その結果、次の 2 点が明らかになった。(1) 銀河中心から < 1 パーセクでの電離ガスの密度は $> 10^5 \text{cm}^{-3}$ である。(2) 自由・自由吸収は、幾何学的に厚い ($h/r > 0.4$) ガス円盤、もしくは、 > 0.4 パーセクサイズ of ガス雲によって生じている。本講演では、この遮蔽体が、銀河核ガス円盤や狭輝線領域のガス雲とどのように関係するのかについても議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

S12a

ALMA サブミリ波偏波観測で探る Centaurus A の質量降着流

永井洋 (国立天文台)、浅田圭一、中村雅徳 (ASIAA)、中西康一郎 (国立天文台)

低光度 AGN (LLAGN) は近傍宇宙に占める割合が多い AGN で、クエーサーなどと比べて活動が不活発な特徴をもっている。この種の AGN は、幾何学的に厚く放射非効率なブラックホール降着流 (RIAF) を形成していると考えられている。RIAF にはいくつかのサブモデルが提案されているが、実際にどのモデルが適合するかはよくわかっていない。理論的には、降着流モデルの違いは質量降着率の違いとなって現れることが期待される。観測的には、ブラックホール近傍からの放射を背景光として、ファラデー回転 (FRM) を測定することで、質量降着率 (\dot{M}) を見積もることが可能だ ($FRM \propto \dot{M}^{1.5}$)。これまで、Sgr A* (極端に暗い LLAGN)、M87 (典型的な LLAGN)、3C 84 (明るい LLAGN) の 3 天体の FRM 観測から、降着流モデルに制限を与える試みがされてきた。Sgr A*、M87 では Bondi 降着よりも低い降着率であることが期待され、何らかの方法で質量降着を抑制する機構が必要と考えられる。一方、3C 84 では、どの RIAF サブモデルでも説明できないことが報告されている。

本講演では、最近傍に存在する典型的な LLAGN 「Cen A」の ALMA による観測結果を報告する。我々は、ALMA を使って 345 GHz 帯における偏波観測をこの天体で初めて実施した。その結果、直線偏波率 0.2% 以下という制限を付けた。偏波が検出されない原因がファラデー消偏波にあるとすると、 $FRM > 3 \times 10^6 \text{ rad m}^{-2}$ という制限が付けられる。この下限値は、同程度の \dot{M} を持つと予想される M87 で観測された FRM よりも数倍以上大きい。Cen A と M87 ではジェットの見込み角が異なることを考慮すると、降着流が球対称降着ではない (例えば赤道面付近で密度が濃い) ことを示唆している。講演では、その他の可能性も含め、Cen A の降着流の状態について論じる。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

S13a ALMA による近傍 AGN NGC1068 のトーラスに付随する分子ガスの検出

今西昌俊 (国立天文台)、中西康一郎 (国立天文台)、泉拓磨 (東京大学)

現在の活動銀河中心核 (AGN) の統一モデルによれば、質量降着する中心の超巨大ブラックホールの周囲にドーナツ状に塵やガスが分布し (いわゆるトーラス)、それを見る角度によって、可視光線で幅の広い輝線を示す 1 型、示さない 2 型の存在を説明できると考えられている。このように、トーラスは AGN の観測的性質に重要な役割を果たしているが、サイズの 10pc 程度以下と小さいため、観測的理解は十分に進んで来なかった。高空間分解能が実現される ALMA は、AGN トーラスの性質の解明に極めて強力な観測施設であると期待される。

我々は、近傍 (距離約 14 Mpc) の 2 型 AGN NGC 1068 を、ALMA を用いて、HCN J=3-2(265.89 GHz)、 HCO^+ J=3-2(267.56 GHz) 輝線で観測した。達成された空間分解能は 0.1 秒角 \times 0.2 秒角である。これまで、ALMA 以前の干渉計や ALMA を用いた約 0.5 秒角分解能の分子ガス観測が行われてきたが、AGN の位置での分子ガス放射は、その東側のはるかに明るい分子ガス放射 (母銀河に帰属) に圧倒され、AGN トーラスに付随する分子ガス自体の性質は観測的に解明できて来なかった。我々の高空間分解能の ALMA データにより、周囲の母銀河の放射を空間的にはっきりと分離して、AGN トーラスの位置での HCN J=3-2、及び、 HCO^+ J=3-2 分子輝線を検出することに初めて成功した。見積もられた高密度分子ガスの質量は太陽の数 10 万倍、サイズは 10pc 程度であった。

さらに、東側の母銀河中の明るい分子ガス放射領域から AGN の位置へとつながる、弱い分子ガス放射の流れの兆候も見つけた。これは、従来から提唱されてきた、母銀河から AGN トーラスへの分子ガスの供給の現場を見ている可能性がある。また、NGC 1068 の中心数秒角の領域全体で、AGN が支配的な銀河で観測されているような、高い HCN/ HCO^+ J=3-2 強度比を示すことも確認した (Imanishi et al. 2016 ApJL 822 L10)。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

S14a SDSS の Stripe 82 領域のクエーサーの変光観測

和田一馬, 岩室史英 (京大理), 大島誠人, 本田敏志, 伊藤洋一 (兵庫県立大学), 高木悠平 (国立天文台)

SDSS の Stripe82 領域での複数回の観測結果から、クエーサーの変光成分は降着円盤の thin disk model で説明でき、その起源は連続光とされている。最近では、定常スペクトルが赤化されたクエーサーが発見されてきている。このような天体はクエーサーとして活発に活動する直前の状態だと考えられている。しかし、クエーサーの活動の時系列での変化はまだよく分かっておらず、活動中に何らかの原因で中心核が赤化を受けている可能性もある。割合として少ない特異なクエーサーは、これらの変化の途中の段階にある可能性があり、時間変化を詳しく調べる必要がある。そこで、本研究の目的は中心核でのみ強く赤化を受けている特異なクエーサーを調べることである。こういった天体はダストの雲が中心部分のみにかかっている状況にあると考えられる。

本研究ではまず SDSS の個々のクエーサーに対して多数回の測光データを等級の大きいグループと小さいグループに分け、その差分を変光成分とした。そしてその変光成分をクエーサーの典型的なパワーローである $F_\lambda \propto \lambda^{-2.33}$ と、小マゼラン雲 (SMC) タイプの減光曲線を用いエラー込みでフィッティングし、中心核までの減光量を推定した。また、輝線の影響による赤方偏移依存性を補正した定常成分のカラーを算出し、その補正された全体のカラーに対し中心核付近の減光量が異常に大きい3天体を特定した。

SDSS 観測期間中ではこの3天体の変光量は少なく、変光成分のカラーの測定精度が悪い。そこで、西はりま天文台の可視撮像装置 MINT で観測を行った。この結果と SDSS とで差分をとり、変光成分を求めた。その結果、観測したクエーサーの内の1つについて、SDSS 観測期間から現在までの間で中心核付近に 0.09 等の赤化が追加された可能性があることが分かった。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

S15a クエーサー紫外-可視域スペクトル中の偏光成分と変光成分の関係

小久保充 (東京大学)

Kishimoto et al. (2004) によって行われたクエーサー偏光分光サーベイ観測によって、静止系波長 4000\AA 以下の紫外波長域において偏光成分フラックスが急激に減少しているクエーサーが数天体発見された。彼らは観測された偏光成分フラックスの紫外域減少について、古くからブラックホール降着円盤モデルで予言されてきたが観測できていなかった、降着円盤内の輻射輸送効果によって生じる広がったバルマー吸収端に対応する特徴であると主張した。一方、クエーサー紫外-可視域観測スペクトル中の降着円盤放射成分を抽出するまったく別の手法として、クエーサーの光度変動成分スペクトルに着目することができる。クエーサー光度変動についての先行研究では、光度変動成分スペクトルとして抽出される降着円盤放射のスペクトル形は一般的に非常に青く、紫外波長域でもフラックスの減少が見られないことが知られている (e.g., Kokubo et al. 2014)。では、偏光成分フラックスの紫外域減少を示しているクエーサーにおいては、光度変動成分スペクトルの形状もやはり紫外域減少を示すだろうか。我々は、Kishimoto et al. によって偏光成分の紫外域減少が確認されているクエーサー 4 天体 (4C09.72, 3C323.1, Ton 202, B2 1208+32) に対して、木曾シュミット望遠鏡/KWFC を用いた u, g, r, i, z バンドのモニタリング観測 (2015 年 4 月-2016 年 2 月) を実施し、各天体に対して光度変動成分スペクトルを抽出したうえで、偏光成分スペクトル形状との比較を行った。その結果、これらのクエーサーについて、偏光成分スペクトルと光度変動成分スペクトルは全く異なる形状を持っている、つまり光度変動成分は他の一般的なクエーサーと同様に非常に青い冪乗スペクトルに近い形状を持つことがわかった。このような偏光成分、変光成分間のスペクトル形状の不一致の原因を考察する (see Kokubo 2016 for details)。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

S16a COSMOS 領域における高光度赤外線銀河の遠赤外線光度と活動銀河核光度の関係

松岡健太, 上田佳宏 (京都大学)

これまでの研究によって、銀河進化とその中心における巨大ブラックホールの成長は密接に関係しているらしいことが明らかになってきた（銀河と巨大ブラックホールの共進化）。しかし、銀河と巨大ブラックホールがどのように進化してきたのかという謎は未だ解明されていない。この共進化を理解する上で重要な鍵となるのが、巨大ブラックホールへの質量降着現象、いわゆる活動銀河核（AGN）とその周辺での星形成（SF）活動の関係である。近年の研究では、AGN 光度と SF 光度における正の相関も明らかになってきている。しかしながら、これらの研究は近傍セイファートや遠方クェーサーといった銀河合体進化シナリオにおいて成熟期にあたる天体に集中しており、巨大ブラックホールへの急激な質量降着や爆発的な星形成を行っているであろうダストに埋もれた種族（例えば高光度赤外線銀河など）に注目した研究はあまり進んでいない。これは、ダストに埋もれた AGN 活動性が可視光や紫外線では吸収を受けるため観測困難であることが要因の一つとなっている。そこで我々は透過力の優れた硬 X 線を用いることで、高光度赤外線銀河の AGN 光度と SF 光度の関係の調査を行った。

本研究において、我々は COSMOS 領域における高光度赤外線銀河（全赤外線光度 $L_{\text{IR}} = 10^{11} - 10^{14} L_{\odot}$ ）に着目した。これらの天体のうち X 線天文衛星 *NuSTAR* (Nuclear Spectroscopic Telescope Array) によって 3–24 keV で検出された 31 天体に対して X 線から AGN 光度を、また遠赤外線（60 μm ）から SF 光度を求めた。これらの光度を比較した結果、高光度赤外線銀河が近傍セイファートや遠方クェーサーに見られる AGN 光度と SF 光度の相関に乗ることを発見した。本講演では上記の高光度赤外線銀河の AGN と SF の関係について議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

S17b 近傍電波銀河 NGC 1052 の HCN J=1-0 吸収線インフロー

澤田-佐藤 聡子 (茨城大学), 亀野誠二 (国立天文台), 盧徳圭, 呉世珍, 李相聖 (韓国天文研究院),
ほか KVN チーム

近傍電波銀河 NGC 1052 中心核領域の HCN J=1-0 遷移の吸収線における VLBI 初観測結果を報告する。NGC 1052 は東西方向に 1 キロパーセクにわたる双極電波ジェットを持ち、その中心からの明るい連続波放射を背景に熱的分子吸収線や非熱的な水メーザー放射が検出されている。過去の VLBI 観測では、水メーザー放射は中心質量を取り巻く半径 1 パーセクのプラズマトーラスと空間的分布が一致し、さらに中心に向かって降着している様子が示された。水メーザー放射と分子吸収線の速度範囲はほぼ一致して共に銀河系統速度から数百 km/s 赤方偏移していることから、HCN 吸収線も水メーザー放射と同様の分布と運動、すなわちトーラスに付随し中心に降着している可能性が考えられる。しかし過去の観測では分解能が足りず、中心核領域における HCN 吸収線の空間的分布に制限を与えることは出来ていなかった。

我々は韓国 VLBI 観測網 KVN を用いて、NGC 1052 の 89 GHz 連続波電波ジェットに沿って HCN J=1-0 吸収線を決定した。達成した分解能は NGC 1052 の距離では 1.4 パーセクに相当する。その結果、5 パーセクに広がる双極ジェット構造のうち遠ざかるジェット側に吸収線が強く分布していることが示された。この観測的特徴はトーラスを形成する高密度プラズマの自由自由吸収の空間的分布と共通しており、HCN 吸収線もプラズマと同様にトーラスに付随することが示唆される。そして、HCN 吸収線の赤方偏移した速度は、水メーザーと同様に中心に向かって降着しているインフローを示すものと考えられる。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

S18b ALMA を用いたサブミリ波帯水素再結合線観測による活動銀河核広輝線領域の探査可能性の検討

泉拓磨, 河野孝太郎 (東京大学), 中西康一郎, 今西昌俊 (国立天文台)

サブミリ波帯の再結合線は、塵に深く埋もれた領域での電離ガスの物理化学状態を探査する強力な手段となる。標準的な統一モデルに立脚すると、活動銀河核 (AGN) は、超巨大ブラックホールと降着円盤を囲むドーナツ状の塵やガスでできた遮蔽構造 (ダストトーラス) を見込む角度によって、広輝線を示す 1 型と示さない 2 型に分類されている。このうち 2 型 AGN では、可視光・近赤外線観測はトーラスによる減光を受けるため、その中心核近傍の詳細な力学・電離構造の直接探査が進んでおらず、統一モデルの直接検証を妨げる一因となっている。

そこで我々は、本格稼働を開始した Atacama Large Millimeter/submillimeter Array (ALMA) による、サブミリ波帯水素再結合線観測を通じた AGN 広輝線領域の探査可能性を検討した。ここでは Case-B 再結合を仮定し、先行研究で広輝線領域について推定された物理情報 (ガスの温度・密度、領域の大きさなど) を用いたモデル計算から、サブミリ波水素再結合線の具体例として、 $H26\alpha$ 輝線 (静止系波長 $847.78 \mu\text{m}$) の光学的厚み、輝線強度、自由 - 自由放射に対する強度比をモデル化した。その結果、(1) 電子密度が $\sim 10^{8-9} \text{ cm}^{-3}$ の場合 (広輝線領域の典型値の範疇)、サブミリ波再結合線は確かに「輝線」として観測される一方、それより高密度では系が完全熱平衡に達して輝線としては見えないこと、(2) 輝線放射が存在する場合でも、予想される観測フラックスは著しく低く、ALMA での検出は非現実的であること、を明らかにした。これらは我々のグループの ALMA Cycle 2 観測の結果 (近傍 2 型 AGN 天体 NGC 1068 で $H26\alpha$ が 3σ 積分強度上限値 $4.02 \text{ Jy beam}^{-1} \text{ km s}^{-1}$ で非検出) と整合する。以上の成果は、T. Izumi et al. 2016, MNRAS, 459, 3629 として報告された。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

S19b 全天 X 線監視装置 MAXI と赤外線天文衛星「あかり」による近傍活動銀河核の X 線・赤外線診断

磯部 直樹 (東工大), 川室 太希, 上田 佳宏 (京都大学), 大藪 進喜 (名古屋大), 中川 貴雄 (宇宙研), 馬場 俊介, 矢野 健一 (東大, 宇宙研), 鳥羽 儀樹 (ASIAA)

活動銀河核の中心エンジンの近傍から放射される X 線の観測と、それを取り囲むダストトラスから放射される赤外線の観測との組み合わせは、活動銀河核の中心周辺の構造を探る最良のプロープである。我々は、全天 X 線監視装置 MAXI と赤外線天文衛星「あかり」を用いて活動銀河核の X 線・赤外線診断を行った。MAXI 全天 X 線カタログの第二版 (Hiroi et al. 2013) は、10 keV 以下の全天 X 線サーベイとして史上最高の感度を誇り、これまでにブレーザー以外の活動銀河核と同定された X 線天体を 100 個 (I 型 73 個, II 型 27 個) リストアップしている。このうち 69 個 (I 型 48 個, II 型 21 個) の活動銀河核に対して、「あかり」全天赤外線サーベイカタログに赤外線対応天体が見つかった。これらに対して、MAXI で得られた X 線光度とスペクトルのハードネス比、「あかり」で得られた赤外線光度とカラー、およびそれらの関係を調査した。活動銀河核の X 線スペクトルの典型的な光子指数 $\Gamma = 1.9$ を仮定し、X 線ハードネス比から中心核に対する吸収の水素中密度 N_H を推定し、X 線光度に対して吸収の補正を行った。その結果、従来から報告されていた X 線光度と赤外線光度の相関関係が、今回のサンプルでも確認された。このような相関関係は、ダストトラスが連続的な分布ではなく、多数のダスト雲で構成された”Clumpy”トラスモデルを支持する。一方、強い吸収を受けた Compton-thick な活動銀河核 ($N_H > 1.5 \times 10^{24} \text{ cm}^{-2}$) は、この相関関係と比べて X 線光度が有意に小さいことも分かった。我々は、このような Compton-thick な活動銀河核の抽出に、X 線ハードネス比と X 線・赤外線の光度比の関係が有効であることを示した。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

S20b モンテカルロ輻射輸送計算によるクランピートラスからの X 線スペクトルモデルの作成

谷本敦, 上田佳宏 (京都大学), 小高裕和 (スタンフォード大学), 深沢泰司 (広島大学), 川口俊宏 (札幌医科大学)

超巨大ブラックホール (SuperMassive Black Hole: SMBH) と母銀河は互いに影響を及ぼしながら、「共進化」してきた。しかし、母銀河から SMBH への質量供給メカニズムは、謎に包まれている。この課題を解決する鍵が、活動銀河核 (Active Galactic Nucleus: AGN) である。AGN は中心の SMBH と降着円盤、その周囲のトーラスから成る。このトーラスは、SMBH への質量降着の役割を担い、銀河と SMBH の共進化の鍵となる構造である。

近年、様々な観測結果からトーラスは一様ではなく、多数のガスの塊からなる非一様な分布 (クランピートラス) が示唆されている。実際、赤外線スペクトルに適用可能なモデルが作成された (Nenkova et al. 2008)。赤外線はダストのみの分布を反映する一方、X 線はダスト・ガスを含む全物質の分布を反映し、トーラス全体の構造を知ることが出来る。しかし、X 線観測スペクトルに直接適用出来るモデルは、未だ発展途上である。

そこで X 線領域におけるクランピートラスモデルの作成に取り組んだ。我々は先行研究 (Furui et al. 2016) をさらに発展させ、より現実的な幾何構造でのモデル作成を行った。そして、理論予想や多波長観測結果を考慮し、ガスの塊をトーラス赤道面を中心とした正規分布に配置するコードを作成した。作成したコードを MONACO (Monte Carlo Simulation for Astrophysics and Cosmology: Odaka et al. 2011) と組み合わせ、パラメータ毎にスペクトルを計算してテーブル化し、X 線観測スペクトルに適用可能なモデルの作成に世界で初めて成功した。本発表では、今回作成したモデルの詳細や実際の X 線観測スペクトルへの適用結果について議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

S21b 可視光短時間光度変動を用いた低質量銀河中心ブラックホール探査

諸隈智貴 (東京大学), 富永望 (甲南大学), 田中雅臣 (国立天文台), 安田直樹, 野本憲一 (Kavli IPMU), 古澤久徳, 諸隈佳菜, 池田浩之 (国立天文台), 谷口由貴, 加藤貴弘, Ji-an Jiang, 小久保充, 土居守 (東京大学), 長尾透 (愛媛大学) Hanindy Kuncarayakti (Millennium Institute of Astrophysics), Sergei Blinnikov (Institute for Theoretical and Experimental Physics)

銀河中心の超巨大ブラックホールの成長を調べる研究分野において、クエーサー等の大質量天体と比較して、より小さな質量のブラックホールの観測的研究はあまり進んでいない。このような低質量銀河中心ブラックホール (ここでは $10^6 M_{\odot}$ 程度以下とする) は、質量降着により活動銀河核として放射を行っていたとしても、その暗さから、観測的な同定が容易ではないのがその理由の一つである。そこで、我々は、このような低質量ブラックホールの有効な探査のため、可視光における数時間程度の短い時間スケールでの光度変動をその選択基準として用いることを考えた。紫外・可視光放射が降着円盤によるものとするれば、ブラックホールが低質量であるほど力学的時間スケールは短くなり、光度変動の時間スケールも短くなると期待される。たとえば、 $10^5 M_{\odot}$ のブラックホールを取り巻く標準降着円盤に対する、可視光放射を主に担う半径における力学的時間スケールは数時間と計算される。

このような考えの下、我々はすばる望遠鏡の新しい広視野カメラ Hyper Suprime-Cam (HSC) で行った高頻度超新星探査のデータを用い、系外銀河の中心部における数時間から1日スケールでの変動を調べた。すばる望遠鏡 FOCAS による分光観測により、このうち1天体が赤方偏移 $z = 0.164$ にあるブラックホール質量 $2.7 \times 10^6 M_{\odot}$ の活動銀河核であることが確認され、本手法の有効性を示す結果を得た (Morokuma et al. 2016, PASJ, 68, 40).

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

S22b セイファート1型銀河の広帯域X線スペクトル変動に対する統一的な解釈

楠絵莉子, 海老沢研, 水本岬希 (東京大学, ISAS/JAXA), 鮫島寛明 (京都産業大学)

セイファート1型銀河は、そのX線スペクトルに特徴的な構造をもち、放射強度やスペクトル形状が激しく時間変動する。これらの物理的起源を解明するために、我々はVariable Double Partial Covering (VDPC) モデルの考察を進めている。このモデルでは、中心ブラックホール周辺に視線を横切る二層の電離吸収体が存在し、それらによる部分吸収に起因した吸収構造からX線スペクトルを説明することができる。まず我々は、このモデルをセイファート1型銀河 MCG-6-30-15 の XMM-Newton 衛星と NuSTAR 衛星による同時観測から得られた 0.2–78 keV に渡る広帯域のデータに適用し、解析を行った。その結果、X線源に固有な連続放射の強度とそれに掛かる部分吸収率という二つの独立な変動成分のみで、スペクトル構造とその変動が説明できることを明らかにした (楠 2016 年春季年会 S16a)。

現在までに複数のセイファート1型銀河に対し、先述の両衛星による同時観測から高精度で広帯域なX線スペクトルが得られている。そのアーカイブデータを用いることによって、我々は複数の天体をVDPCモデルを用いて解析し、広帯域に渡る時間変動を統一的に説明する試みをしている。ここから、VDPCモデルで考えるブラックホール周辺構造のジオメトリに関する妥当性が議論される。本講演では、その結果と展望について紹介する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

S23a X線スペクトル変動解析による NGC 4051 のアウトフロー構造の制限

水本岬希, 海老沢研 (JAXA/ISAS, 東京大学)

狭輝線セイファート1型銀河である NGC 4051 の X 線スペクトルには青方偏移した吸収線が見られることが知られており、このことは NGC 4051 がアウトフローを持つことの証左となっている。今回我々は、2009 年に XMM-Newton 衛星によって行われた長時間観測のアーカイブデータを用いて、アウトフローの構造に制限を付けることを試みた。まず、スペクトルフィットにより、本天体には少なくとも3つの吸収体があることを見出した。次に、本天体の root-mean-square (RMS) スペクトルを、グレーティング素子のエネルギー分解能で計算した結果、3つの吸収体のうち、1つの吸収体 (吸収体 1: $\log \xi = 1.5$, $v = -660 \text{ km s}^{-1}$) のみが大きく変動しており、他の2つ (吸収体 2: $\log \xi = 2.5$, $v = -4100 \text{ km s}^{-1}$, 吸収体 3: $\log \xi = 3.4$, $v = -6100 \text{ km s}^{-1}$) は変動を示さないことが分かった (ξ は電離度、 v は吸収体の速度)。これほど高いエネルギー分解能でセイファート銀河の RMS スペクトルを計算したのは本研究が初めてである。吸収体 1 は 10^4 秒程度で最も激しく変動しており、ケプラー運動を仮定すると中心から $\sim 10^3 R_s$ (R_s は Schwarzschild 半径) に位置していることになる。加えて、吸収体 1 が作る吸収線の深さと軟 X 線 ($< 2 \text{ keV}$) のフラックスとの間に逆相関があることがわかった。これは、吸収体 1 が、吸収線を作る光学的に薄い層と、軟 X 線に対して光学的に厚い層の二重構造になっており、それが部分的に X 線減を覆い隠すためと解釈することができる。また、吸収体 2, 3 は中心から数百 R_s の位置にあって視線を一様に覆っているため変動を示さないと考えることができ、これらのパラメータは line-driven disk wind のものと一致している。この結果は、NGC 4051 のアウトフローが $10^3 R_s$ に位置して二重構造をもつものと数百 R_s に位置している line-driven disk wind の二種類によって構成されることを示す。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

S24a 活動銀河核アウトフローによる星間ガスへのフィードバックの磁気流体計算

朝比奈雄太 (国立天文台)、野村真理子 (慶應義塾大学)、大須賀健 (国立天文台/総研大)

銀河中心の大質量ブラックホールとその母銀河は共進化していると考えられている。その傍証である銀河中心のブラックホール質量と銀河バルジの速度分散の相関 (いわゆる $M-\sigma$ 関係) は、活動銀河核 (AGN) からのフィードバックによって生じている可能性があるが、具体的なフィードバック機構については明らかにされていない。Wagner 等は AGN アウトフローが非一様な星間空間へ伝わる状況を流体シミュレーションで調べ、フィードバック効果が重要であることを示しているが、星間磁場の影響については調べられていない。

そこで我々は 3 次元磁気流体計算を実施してフィードバック効果を調べた。 10^7 K の高温なガスと 10^4 K 程度のガスが圧力平衡を保ちつつ非一様に分布した状況に、ジェットや円盤風といった AGN アウトフローが伝搬する様子を計算した。初期磁場はアウトフローの軸方向に沿って一様であるとした。アウトフローは星間ガスの非一様性によって枝分かれしながら伝播し、また、星間ガスは動圧で加速される。この際、高密度ガス雲は動圧だけでなく磁場張力によって加速されることがわかった。これにより、ガス雲の速度分散は上昇することになる。また、この結果は、ジェットだけでなく開口角の大きな円盤風においても確かめられた。

磁気張力によってアウトフローから高密度ガスへのエネルギー伝達の効率が上がるこのメカニズムは、AGN に限らず、磁化した非一様な星間ガスがアウトフローで加速される場合に広く起こる現象であろう。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

S25a **ブラックホール降着円盤周辺に存在する層雲の安定性**

板西佑介、福江 純（大阪教育大学）

活動銀河中心核に存在するブラックホール降着円盤周辺には、BAL ケーサーや UFO などの観測から推測されるように、降着円盤から吹き出したガスや周辺から落下してきたガスなどに起因するだろう無数の雲塊や層雲が存在していると考えられている。このようなブラックホール降着円盤周辺のガス雲の振る舞いについては、粒子的な描像のもとで、降着円盤からの強い輻射場における安定性について、(層雲の真下の disk からの輻射のみを考える) near-disk 近似を用いた場合 (Fukue 1996)、および円盤全体からの輻射を考慮して計算した場合 (Kitabatake and Fukue 2003) が調べられ、一方、ガス雲内の輻射輸送を解く層雲的な描像のもとで、near-disk 近似を用いて計算されている (Nakai and Fukue 2015)。今回、後者の層雲的な描像のもとで、層雲の安定性を、near-disk 近似を用いず、降着円盤全体からの輻射を考慮して調べた。すなわち、中心ブラックホールからの重力、降着円盤からの輻射力、そして、層雲内部の輻射輸送による前方散乱や後方散乱の輻射力などを計算し、降着円盤の光度と層雲の光学的厚みをパラメータとして、層雲の臨界浮遊高度を計算した。

以前の粒子的な描像の知見として、円盤光度が大きくなると、円盤内縁近傍では安定な浮遊高度が存在しなくなり、ガスが吹き出す風領域となることがわかっていた。粒子的な取り扱いと層雲的な取り扱いを比較すると、前者では粒子によるトムソン散乱が前方と後方で対称なのに対し、層雲では後方散乱が大きくなるため、輻射力がより効果的に働き、浮遊高度が高くなるとともに (おおまかに 2 倍ほど)、内縁近傍の風領域も広がる傾向がある。さらに、層雲的な取り扱いで、near-disk 近似を用いた計算と今回のフルの計算を比較すると、内部領域では内縁近傍からの輻射が強くなるため、浮遊高度が全体的に高くなり、風領域も広がることが分かった。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

S26a

超高光度赤外線銀河 UGC 5101 の広帯域 X 線スペクトル 解析

小田紗映子、上田佳宏、谷本敦 (京都大学)、今西昌俊 (国立天文台)、寺島雄一 (愛媛大学)、
Claudio Ricci (Pontificia Universidad Catolica de Chile)

超高光度赤外線銀河 (UltraLuminous InfraRed Galaxy; ULIRG) は赤外線で極めて明るく輝く天体である。ULIRG 中には多量のガスやダストが密集しており、ダスト再放射によって強力な赤外線光度を実現している。そのエネルギー源としては活発な星生成あるいは活動銀河核 (Active Galactic Nucleus; AGN) の存在が期待され、ゆえに ULIRG は銀河進化の途中段階であると考えられている。ULIRG のエネルギー源や構造を明らかにすることは、銀河の星生成活動と超巨大ブラックホールの共進化を理解する上でひじょうに重要となる。

先行研究においては、星生成が ULIRG の主なエネルギー源であると示唆されてきた。しかし、ダスト吸収による観測の困難さから、星生成と AGN それぞれの寄与について明確な結論は得られていない。この問題を解決する有用な手段が、透過力の強い硬 X 線による観測である。本研究では、代表的な近傍 ULIRG の 1 つである UGC 5101 ($z=0.040$, $L_{\text{IR}} \simeq 10^{12} L_{\odot}$) について、X 線衛星 *Swift*, *NuSTAR*, *Suzaku*, *XMM-Newton*, *Chandra* の観測データをすべて利用し、過去最高精度の広帯域 X 線スペクトル解析 (0.25–100 keV) を行った。その結果、10 keV 以上で卓越する硬 X 線放射を検出し、UGC 5101 の中心に強力な AGN が存在することを発見した。また、簡単な幾何を仮定した数値トラスモデル (Ikeda et al. 2009) を用いることにより、その AGN がガスや塵に深く隠されている ($N_{\text{H}} \approx 1.7 \times 10^{24} \text{cm}^{-2}$) ことを明らかにした。AGN の光度は $L_{\text{X}} \approx 3 \times 10^{43} \text{erg s}^{-1}$ であり、赤外線放射のエネルギー源として十分に大きく寄与していることがわかった (Oda et al. 2016, submitted to PASJ)。本講演では、解析の詳細を述べるとともに、UGC 5101 における埋もれた AGN の性質について議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

S27a 硬 X 線 (> 10 keV) 選択された適度に吸収を受けた活動銀河核の「すざく」による広帯域 X 線スペクトルの系統的解析

川室太希、上田佳宏 (京都大学), 田崎文得 (国立天文台), Claudio Ricci (Pontificia Universidad Católica de Chile), 寺島雄一 (愛媛大学)

活動銀河核 (AGN) の構造 (降着円盤、トーラス) の調査には、適度に吸収を受けた AGN (水素柱密度 $\log N_{\text{H}} = 22\text{--}24 \text{ cm}^{-2}$) の広域 X 線観測がひじょうに有効である。連続光の吸収量からトーラスの水素柱密度を精度よく計測でき、また、コンプトン散乱に対して厚い AGN ($\log N_{\text{H}} > 24$) と比べて光度を正確に見積もることができるからである。そこで我々は、吸収によるバイアスが最小限な硬 X 線 Swift/BAT 70ヶ月カタログから、「すざく」で観測された 45 AGN に着目し、系統的解析を行った (Kawamuro et al. 2016, ApJS in press)。広帯域 X 線スペクトル (0.5–150 keV) は主に直接成分、鉄輝線と 30 keV でハンプを持つ反射成分、そして、トーラスの外側に広がった散乱体からの散乱成分を考慮することで再現できた。その結果をもとに以下の事実を突き止めた。

(1) 連続成分を特徴付ける光子指数はエディントン比と正の相関を示し、光度や SMBH 質量とは有意な相関を示さない。(2) トーラス構造の立体角に相当する鉄輝線の硬 X 線連続成分に対する光度比が X 線光度の増加に伴って小さくなる。(3) 水素柱密度 ($\log N_{\text{H}} = 22$) で分けた二つのサンプルに対して積算スペクトルを作成し、30 keV に見られる反射成分の平均強度を過去最高精度で見積もった。結果、吸収を強く受けた天体ほど、反射強度が大きくなる傾向を得た。(4) [O IV] 25.89 μm 輝線の光度は、散乱成分の強度と正の相関がある。すなわち、埋もれた AGN では、[O IV] 25.89 μm が AGN 光度のよい指標ではない。本講演では、以上の観測結果を紹介すると共にその解釈について議論を行う。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

S28a 「すざく」衛星による宇宙エックス線背景放射の軟ガンマ線観測

寺田幸功 (埼玉大), 深沢泰司 (広大), 上田佳宏 (京大), 馬場彩 (東大), 前田啓一 (京大), 玉川徹 (理研), 高橋忠幸 (ISAS), 榎戸輝揚 (京大), 勝田哲 (中央大), F. K. Röpke (Universität Heidelberg), A. Summa (MPI für Astrophysik) R. Diehl (MPI für extraterrestrische Physik)

エックス線で宇宙を見るとあらゆる方向から正体不明の放射が検出される。これが宇宙エックス線背景放射 (Cosmic X-ray Background; CXB) である。30 keV 付近の強度ピークより低エネルギー側の裾野である 10 keV 以下の軟エックス線帯域では、ROSAT や「あすか」による先行研究、および、Chandra 衛星による高空間分解能観測によって、活動銀河核 (AGN) が正体であることが明らかにされた。一方、10 keV 以上の硬エックス線帯域は、隠された AGN (obscured AGN) が大きく寄与することが分かってきたが、肝心の CXB の強度レベルの測定はいまだに不確定要素が大きい。10 keV 以上の観測は、1999 年 Gruber らによる HEAO-1/A4 の観測 (13 – 180 keV) の後は、BeppoSAX/PDS (15 – 50 keV; Frontera et al 2007)、INTEGRAL (5 – 100 keV; Churazov et al 2007)、Swift/BAT (15 – 200 keV; Ajello et al 2008) による観測が続くが、スペクトルが折れ曲がる 200 keV 以上の測定がほとんどない。そこで我々は、エックス線観測衛星「すざく」の 10 年分の公開データを用いて、200 – 500 keV 帯域の CXB のエネルギースペクトルの導出を試みた。観測時間が 120 ksec 以上の 140 観測のうち、70 keV 以下に CXB 以外の天体からの有意な信号が検出されていない 37 観測を選別し、200 keV 以上のスペクトルを抽出した。非エックス線バックグラウンドの再現性や、地球からのアルベドの効果等を系統誤差として含め、解析を行った。結果、200 – 500 keV 帯域で Gruber らのモデルよりハードなスペクトル形状を要求するものの、強度はエラーの範囲で矛盾ない値 $(5.1_{-2.6}^{+2.5}) \times 10^{-2} \text{ ph s}^{-1} \text{ cm}^{-2} \text{ str}^{-1}$ が得られた。本講演で詳細を示す。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

S29a IC4329A における時間変動を用いたモデル依存しない成分分解 (3)

三宅克馬 (東大理), 野田博文 (東北大), 山田真也 (首都大), 清野愛海 (東大理), 牧島一夫 (理研), 中澤知洋 (東大理)

活動銀河核 (AGN) の X 線一次成分は、光子指数 $\Gamma \sim 2$ の単一べき関数 (PL) と考えられてきたが、観測されるスペクトルには反射成分や鉄輝線などが加わるため、一次成分が本当に単一 PL であるか否かの検証はなされていなかった。Noda et al. (2011, 2013, 2014) は時間変動を利用したモデル依存しない成分分解手法を開発し、様々な Seyfert 1 型 AGN で一次放射成分が複数存在することを発見した。このうち soft ($\Gamma \sim 2.3$) な PL 成分は AGN の降着率が低くなる (Eddington 比 $\eta \lesssim 0.001$) と消え、hard ($\Gamma \sim 1.6$) な PL 成分のみが残る。この hard PL は、Radiatively Inefficient Accretion Flow (RIAF) 状の降着流が起源と考えられる。

我々は今回、明るく時間変動の激しい Seyfert 1 型 AGN として IC4329A を選んだ。この天体は 2007 年 8 月に「すざく」による観測が 5 回、2012 年 8 月に「すざく」と *NuSTAR* による同時観測が 1 回されており、2–10 keV のフラックスは $(0.67\text{--}1.2) \times 10^{-10} \text{ erg cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ だった。我々は今回初めて、*NuSTAR* の 3–70 keV の広帯域データに対して Noda et al. (2013) の C3PO 法を用いて成分分解を行った。「すざく」と *NuSTAR* の両データを同時解析した結果、他の Seyfert 1 型 AGN と同様に、IC4329A でも変動の早い soft PL ($\Gamma = 1.9$) と変動の遅い hard PL ($\Gamma = 1.6$) の二つの一次成分と反射成分が確認された。このように時間変動を利用することで、単一の $\Gamma = 1.7$ PL、反射成分、広がった鉄輝線から成ると考えられていた (Brenneman et al. 2014) スペクトルが、複数の一次放射成分を含むことを明らかにした。また、 $\eta \sim 0.2$ と特に降着率の高い IC4329A でも hard PL が soft PL の 3 分の 1 程度の強度を持つことから、AGN が非常に明るくとも RIAF 状の降着流は消滅せずに残ると考えられる。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

S30a 挟輝線1型セイファート銀河 NGC 4051 の X 線スペクトル時間変動解析

清野愛海 (東大理), 野田博文 (東北大), 三宅克馬, 中澤知洋 (東大理), 牧島一夫 (理研)

セイファート1型活動銀河核 (Sy1) では、その X 線スペクトルにベキ関数型 (PL) の1次成分が複数存在し、光度に応じてそれぞれの成分の強度比が変わることが、時間変動解析によって観測的に明らかになってきた (Noda et al. 2013, 2014)。そこで本研究では、Sy1 よりもブラックホール (BH) 質量が小さく降着率のエディントン比が高いと考えられている挟輝線1型セイファート銀河 (NLS1) で、同じ描像が成り立つかどうか検証した。

NGC 4051 は、距離 11 Mpc (Tully et al. 2013)、質量 $1.7 \times 10^6 M_{\odot}$ (Denney et al. 2009) の NLS1 で、X 線衛星「すざく」で 2005 年 11 月に 1 回と 2008 年 11 月に 2 回の計 3 回観測が行なわれている。2–10 keV のフラックスが $\sim 2 \times 10^{-11} \text{ erg cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (2008 年) と明るく、観測間での変動も 2–3 倍と大きいため、時間変動解析に適している。このフラックスと質量から求めたエディントン比は ~ 0.01 であり、NLS1 の中では小さい。各観測間でスペクトルの差分をとったところ、その変動は単一の $\Gamma \sim 2.3$ の PL 成分が担っていると解釈できた。これを元にして $\Gamma = 2.3$ で固定した PL 成分と、反射成分の 2 成分のみでは、時間平均スペクトルを再現できないことが確認され、残差として鉄の吸収エッジと硬 X 線帯域のハンプ構造が見られた。そこで新たに、吸収を受けた独立の PL 成分を加えると、 $\chi^2/\text{d.o.f} = 597/537$ とスペクトルをよく再現できた。この成分は、 $N_{\text{H}} = (2.3_{-0.5}^{+0.6}) \times 10^{23} \text{ cm}^{-2}$ と吸収が強く鉄エッジを持ち、変動する PL 成分に比べて $\Gamma = 1.3 \pm 0.1$ とハードであった。一方で、スペクトルを説明するモデルとして他に考えられている、 $\Gamma = 2.3$ の PL 成分の部分吸収や相対論的反射のような 2 次放射で検証してみたところ、いずれも棄却された。すなわち、NLS1 の X 線スペクトルが 2 種の 1 次成分を含んでおり、NLS1 の BH 周囲にも、Sy1 と同様に複数の X 線放射源が存在することが強く示唆された。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

【T. 銀河団】

9月14日（水）午前（11:00-13:00）[F会場]

T01a	11:00	LoCuSS: Weak-lensing mass calibration of galaxy clusters	岡部信広（広島大学）
T02a	11:12	Subaru/HSC サーベイ領域にある重量級銀河団の X 線観測による質量推定	宮岡敬太（広島大学）
T03a	11:24	衝突初期の銀河団に付随する衝撃波と広がった電波放射の発見	Hiroki Akamatsu（SRON）
T04a	11:36	すざく衛星による銀河団 RXC J1053.7+5453 の温度測定	板花まどか（山形大学）
T05b	11:48	銀河団 CIZA J2242.8+5301 中の電波レリックの乱流加速モデル	藤田裕（大阪大学）
T06b	11:48	すざくによる Triangulum Australis 銀河団の広帯域 X 線観測	鷹箸颯太（山形大学）
T07a	12:00	「ひとみ (ASTRO-H)」SXS によるペルセウス座銀河団中心部の乱流速度	松下恭子（東京理科大学）
T08a	12:12	「ひとみ」で測定されたペルセウス座銀河団の X 線乱流速度の解釈	牧島一夫（理化学研究所）
T09a	12:24	ペルセウス座銀河団における高温ガスの乱流による共鳴散乱の評価	古川愛生（東京理科大学）
T10a	12:36	「ひとみ (ASTRO-H)」SXS によるペルセウス座銀河団中心部の共鳴散乱	佐藤浩介（東京理科大学）
T11a	12:48	Geant4 を用いた楕円銀河中心における共鳴散乱の影響の評価	寺前拓人（広島大学）

T01a **LoCuSS: Weak-lensing mass calibration of galaxy clusters**

岡部信広, Graham Smith

我々は、すばる望遠鏡/Suprime-Cam を用いて $0.15 < z < 0.3$ にある明るい X 線銀河団 50 個に対して系統的な弱い重力レンズ解析を行った。弱い重力レンズ解析において最も大きな系統誤差は、背景銀河の選定である。例えば、レンズ情報を持たない銀河団銀河などを背景銀河として扱ってしまうと、中心部で 40% 程度レンズ信号を過小評価してしまう。我々は、背景銀河を定量的に選定する方法を開発し、重力レンズ信号と、測光赤方偏移、色、位置などの独立した情報を組み合わせることによって、99%の精度で背景銀河を選定することに成功した。これにより平方分あたりの平均的背景銀河の数密度は 13 個と前回の解析に比べ約 2 倍程度増加した。また、形状測定の系統誤差についてもシミュレーションデータを使って精査し、総合で 4% 程度の系統誤差に収まることを確認した。

我々は銀河団の質量-質量集中度の関係性を調べ、近年の複数のシミュレーション結果と一致することが分かった。また、50 個の銀河団をスタックしたレンズ信号プロファイルは、普遍的動径質量プロファイル (NFW プロファイル) や Einasto プロファイルを強く支持することが分かった。さらに、他研究による弱い重力レンズ質量との比較を行い、CCCP や CLASH と良く一致してるが、wtG とは $1-2\sigma$ 程度一致していないことが分かった。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

T02a Subaru/HSCサーベイ領域にある重量級銀河団のX線観測による質量推定

宮岡敬太、岡部信広、北口貴雄、深沢泰司 (広大理)、HSC Cluster Members

すばる望遠鏡の Hyper Suprime-Cam Subaru Strategic Program (HSC SSP) サーベイ領域にある銀河団のうち、*XMM-Newton* 衛星によって観測された X 線データから、銀河団の全質量を静水圧平衡を仮定して求めたので、報告する。本研究の最終目標では、この X 線で求めた銀河団全質量と、HSC 広視野可視光観測データを用いた弱い重力レンズ効果を利用して求められる質量を比較して、そのスケーリング関係や、温度や光度などの銀河団パラメータとの依存性を導くことを目指している。

サンプルは良い光子統計を得るために、近傍 ($z < 0.4$) かつ重量級 ($M_{500} \geq 2 \times 10^{14} M_{\odot}$) の銀河団 22 個を *ROSAT* 衛星の MCXC カタログから選定した。その中の 12 個は、*XMM* で観測済みで、公開データを使用した。残りの 10 個は、我々が観測提案し、現時点で 7 個の銀河団のデータを得ている。これらのサンプルを *XMM* の拡がった天体に特化した解析ツール ESAS を用いてデータ処理し、各銀河団のスペクトルおよびイメージを作成した。ガス温度の半径分布を求めるために、銀河団中心から円環で区切った領域のスペクトルを、バックグラウンドが支配的な領域も含めすべて同時フィットして、銀河団ガス放射および全体に拡がるバックグラウンドをモデル化した。イメージから電子密度分布を求めるために、望遠鏡の点拡がり関数をモデル関数に畳み込んでフィットした。得られた電子密度分布を先行研究と比較したところ、XSPEC 12.9.0 系統のみに見られる APEC モデルフラックスを過大評価するバグを発見し、それを修正して再計算した。こうして求めた温度およびガス密度の半径分布から、静水圧平衡を仮定して銀河団の全質量を求めた。本講演では上記の解析手法を説明し、22 個のサンプルのうち解析の終了した銀河団の結果を紹介する。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

T03a

衝突初期の銀河団に付随する衝撃波と広がった電波放射の発見

H. Akamatsu¹, L. Gu¹, T. W. Shimwell², F. Mernier^{1,2}, J. Mao^{1,2}, I. Urdampilleta^{1,2}, J. de Plaa¹, H.J.A. Röttgering², and J. S. Kaastra^{1,2} 1:SRON, 2:Leiden Observatory

We present the results of *Suzaku* and *XMM-Newton* X-ray observations of the cluster pair 1E2216.0-0401 and 1E2215.7-0404. We discover a significant X-ray bridge between the clusters. *Suzaku* and *XMM-Newton* observations revealed that each cluster hosts hot gas with moderate temperature of $kT = 4.8 \pm 0.1$ keV and $kT = 5.8 \pm 0.2$ keV, respectively. On the other hand, the bridge region shows a remarkably high temperature ($kT = 6.6 \pm 0.5$ keV). Furthermore we detected an enhancement in the wavelet-decomposed soft-band *XMM-Newton* image with 3 sigma significance, which is most likely compressed intracluster medium (ICM) due to the merging activity. These features can not be explained by late phase cluster merger and are in agreement with the predictions by numerical simulations of the early phase merger. From the temperature jump, the Mach number is estimated to be $\mathcal{M} = 1.4 \pm 0.1$, which gives us the shock velocity of about 1560 km/s. From the shock properties, we estimate the core-passage will occur after 0.3–0.6 Gyr and the age of the shock structure is about 50–100 Myr. Based on the measured properties of the ICM at the bridge and simple calculations, we find indications for non-equilibrium ionization. We also discover possible diffuse radio emission in VLSS, NVSS and GMRT data which are located between the clusters. Combining the radio, X-ray, and optical image data, we speculate that the detected radio sources are most likely related to the merger event. Thus, 1E2216.0-0401 and 1E2215.7-0404 is a new example of an early phase cluster merger with remarkable characteristics.

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

T04a **すざく衛星による銀河団 RXC J1053.7+5453 の温度測定**

板花まどか, 滝沢元和 (山形大), 赤松弘規 (SRON), R. van Weeren (CfA), 河原創 (東京大), 深沢泰司 (広島大), J. Kaastra (SRON), 中澤知洋 (東京大), 大橋隆哉 (首都大), 太田直美 (奈良女子大), H. Röttgering (Leiden Univ.), J. Vink, F. Zandanel (Amsterdam Univ.)

電波レリックとは銀河団外縁部に広がる非熱的な電波放射領域である。典型的な電波レリックは円弧状の形状を示しており、銀河団衝突時に発生した衝撃波を反映していると考えられている。近年、電波、X線の両観測から衝撃波のマッハ数が見積もられており、得られたマッハ数が必ずしも一致しないという問題点が挙げられている。これは、電波観測からマッハ数を算出する際に仮定した粒子加速過程が成り立たないことを示しており、マッハ数の他に加速過程を特徴づける新たなパラメータが必要であることを示唆する。今回我々は、すざく衛星を用いて銀河団 RXC J1053.7+5453 ($z = 0.0704$) の電波レリック周辺領域の観測を行った。これはすざく AO9 の Key project の一つである。本天体は、長さ 600 kpc の電波レリックを持つ銀河団であり、先行研究では中心領域を含め温度は測定されていない。Chandra のデータを用いて点源を取り除き、X線のピークから電波レリック方向の温度分布をすざく衛星のデータを用いて作成した。電波レリック前後において有意な温度差は得られなかった。電波レリック外縁に衝撃波が存在すると仮定し、衝撃波前後の温度差にランキン-ユゴニオの関係式を適用しマッハ数を見積もったところ、 $M_X = 1.46^{+0.47+0.12+0.06}_{-0.79-1.35-0.08}$ を得た。また、Chandra のイメージでは銀河団の西側に表面輝度不連続面が見られるため、その付近の温度分布を作成した。不連続面前後において有意な温度差は検出されなかったが、外側に向かって 0.3 keV 程度の温度上昇が見られるため、衝撃波である可能性は低いと考えられる。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

T05b 銀河団 CIZA J2242.8+5301 中の電波レリックの乱流加速モデル

藤田裕 (大阪大学), 赤松弘規 (SRON), 木村成生 (東北大学)

銀河団にしばしばみられる電波放射のうち、レリックと呼ばれるタイプのものは、銀河団の周辺部で円弧状に観測されることから、衝撃波加速で加速された宇宙線電子によるシンクロトロン放射と考えられてきた。しかし最近の観測では、電波スペクトルが衝撃波加速モデルの予想よりもハードであること、完全なべきではなく曲がっていることが明らかになりつつあり、単純な衝撃波加速モデルでは、その起源を説明できなくなっている。

最近の研究 (Fujita et al. 2015, ApJ, 815, 116) で、我々はレリックの起源となる電子は衝撃波ではなく、衝撃波後方の乱流で加速されたという説を提唱し、実際に銀河団 1RXS J0603.3+4214 (Toothbrush) のレリックを説明できることを示した。本講演では衝撃波加速の典型例とされてきた銀河団 CIZA J2242.8+5301 (Sausage) 中のレリックでさえも、乱流加速のほうがスペクトルをよりよく説明できることを示す。さらに宇宙線電子の逆コンプトン散乱による硬 X 線放射についての予想も紹介する。

Ref. Fujita, Akamatsu, & Kimura, 2016, PASJ, 68, 34

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

T06b すざくによる Triangulum Australis 銀河団の広帯域 X 線観測

鷹箸颯太 (山形大), 滝沢元和 (山形大), 板花まどか (山形大), 中澤知洋 (東京大)

これまでの観測により、いくつかの銀河団において 10 keV を大きく超える超高温成分からの放射が存在することが明らかになった。このような温度を正確に測定するには硬 X 線領域まで含めた解析が必要である。また、電波ハローやレリックのような非熱的電波放射領域を持つ銀河団では逆コンプトン散乱による非熱的 X 線が存在するはずであり、その探査にも硬 X 線観測は重要である。

Triangulum Australis 銀河団は近傍 ($z = 0.051$) に位置し、X 線放射が $20' \times 20'$ ほどに広がる銀河団である。先行研究では中心部に 15 keV 程度の超高温成分があることが示唆されている (Markevitch et al. 1996)。さらに、近年の電波観測では電波ハローを持つことが発見された (Scaife et al. 2015)。

今回我々は、すざく衛星に搭載されている X 線 CCD 検出器 (XIS) と硬 X 線検出器 (HXD) を用いて Triangulum Australis 銀河団を観測した。輝度ピークを中心とした複数の領域でスペクトル解析を行い温度分布を求めた結果、中心部の温度は $kT = 10.41 \pm 0.11$ keV と得られ、その周囲では南側に温度が高めの領域が見つかった。この結果は Markevitch et al. (1996) の結果と異なるものである。また、逆コンプトン散乱による非熱的 X 線を探査するため、HXD のデータを apec モデルと power-law モデルを組み合わせフィッティングした。HXD のスペクトルは apec 単独でもよくあい、power-law を積極的に入れる必要はなかった。今後より詳細な解析を行い、非熱的 X 線の有意性の判別や高温領域の詳細な分布決定などを試みたい。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

T07a 「ひとみ (ASTRO-H)」SXS によるペルセウス座銀河団中心部の乱流速度

The Hitomi collaboration (講演者 松下恭子 (東京理科大学))

ペルセウス座銀河団は、X線でも最も明るい銀河団であり、中心に明るいクールコアを持つ。クールコアのガスの冷却時間は宇宙年齢よりもはるかに短いため、何らかの加熱源が必要である。ペルセウス座銀河団の中心銀河 NGC 1275 の活動銀河核から吹き出したジェットが相対論的プラズマで満たされたバブル構造を作り周囲の銀河団ガスを押しつけている様子が Chandra 衛星によって観測されている。その結果、周囲のガスに乱流が引き起こされ、加熱され、放射冷却が止まる、つまり活動銀河核によるフィードバックが起こっているのではないかとの予想が主流であった。

今回は、我々はひとみ (ASTRO-H) 衛星によるペルセウス座銀河団中心領域の 230 ks に及ぶ観測結果の報告を行う。この観測では、SXS 検出器の視野 $3' \times 3'$ (60×60 kpc) の中心は、活動銀河核の北西 $1'$ に位置していた。まだゲートバルブは閉まっていたために、低エネルギー側は観測できなかったものの、6.7 keV の鉄 He- α の輝線からは 20000 個以上の光子を検出した。SXS 検出器のエネルギー分解能は 4.9 eV を達成し、6.7 keV 輝線を複数の輝線に分離することができた。中心核周辺 30×40 kpc の領域を除くと、輝線幅からガスの視線方向の速度分散は 164 ± 10 km/s と驚くほど低い値が得られた。さらに、輝線ピークのエネルギーから、視野内での速度変化は 150 ± 70 km/s となった。これらの結果は、乱流による圧力はガスの熱的圧力の数%以下であることを意味する。つまり、中心部においては、静水圧平衡を仮定して得られた重力質量の測定には乱流圧力はほとんど影響しないことになる。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

T08a 「ひとみ」で測定されたペルセウス座銀河団のX線乱流速度の解釈

牧島一夫 (理研), Gu Liyi (SRON), 川原田 円 (JAXA), 中澤知洋 (東大理)

X線衛星「ひとみ」は痛恨ながら短命に終わったが、ペルセウス座銀河団の中心付近で、高温プラズマ (ICM) のもつ乱流速度が $\sigma \sim 160 \text{ km s}^{-1}$ と小さいことを発見した [1]。本講演ではこの結果の意味を考える。

一般に銀河団の中心付近では、X線放射による ICM の放射冷却時間は宇宙年齢より短いけれど、「あすか」の観測などで判明したように、大規模な ICM 冷却は起きておらず [2]、いわゆる cooling flow の描像は否定された。これは超新星爆発を1桁も上回る未知の ICM 加熱機構が、銀河団にあまねく内在することを意味する。

この加熱機構としてポピュラーなのが、中心の AGN からの力学的エネルギー (ジェットなど) を熱源とみなす「AGN フィードバック」機構である [3]。しかしジェットのように異方性の強い源で、ICM をいかに一様に加熱し、また銀河団ごとの個性 (AGN の強弱など) をどう殺すかなど、工夫が必要であった。さらに決定的な問題として、この機構では ICM に $\sigma \sim$ 数百 km s^{-1} の強い乱流が期待され [4]、「ひとみ」の観測結果と矛盾してしまう。

他方で我々は、「運動するメンバー銀河が ICM と相互作用して加熱する」と提唱し [2]、メンバー銀河が (おそらく ICM との相互作用により) 宇宙年齢かけて中心に落下してきたことを観測的に確認する [5] など、着実にその実証を進めて来た。この場合は遷音速で運動する銀河たちが熱源なので、乱流の速度分散は $\sigma = 150 \sim 200 \text{ km s}^{-1}$ と期待され [6]、「ひとみ」の結果とよく整合する。よって我々の描像がさらに強化されたと言えよう。

[1] The Hitomi Collaboration, 2016 *Nature*, in press[2] Makishima et al. 2001, *PASJ* **53**, 401[3] McNamara & Nulsen 2007, *ARAAS* **45**, 117[4] Yang & Reynolds 2016, *ApJ* **818**, 181[5] Gu et al. 2013, *ApJ* **767**, 157; astro-ph/1602.01524[6] Ruszkowski & Oh 2011, *MNRAS* **414**, 1493[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

T09a ペルセウス座銀河団における高温ガスの乱流による共鳴散乱の評価

古川愛生, 松下恭子, 佐藤浩介, 佐々木亨, 天海公志 (東京理科大学), 深沢泰司, 枝廣育実 (広島大学)

銀河団中心部では Fe 6.70 keV の共鳴線の共鳴散乱の光学的厚さが 1 を超えており、共鳴散乱の影響による重元素のアバンドランスの過小評価の可能性や、共鳴散乱とガスの乱流運動の影響などが議論されてきた (e.g. ASTRO-H WHITE paper)。2016 年 2 月 17 日に打ち上げられた「ひとみ (ASTRO-H)」衛星に搭載されたマイクロカロリメーター検出器 SXS は従来の CCD 検出器に比べてエネルギー分解能が飛躍的に向上し、これまで分離できなかった輝線の微細構造から共鳴線を分離することが可能となり、個々の輝線幅から乱流運動を調べることや輝線の強度比から共鳴散乱の大きさを調べることができる。

前回の講演 (古川 2016 年春季年会 T09a) では、ペルセウス座銀河団の He-like Fe-K α 輝線について、XMM 衛星の観測をもとに球対称な銀河団を仮定し、「GEANT4」及び「ひとみ (ASTRO-H)」SXS の応答関数を用いて「非一様なガス乱流を仮定した場合」や「中心コアの独立な運動を仮定した場合」の共鳴散乱の影響についてシミュレーションを行い、銀河団中に一様乱流を仮定した場合 (Churazov et al. 2004, Zhuravleva et al. 2014) に比べて、中心部のみの乱流を仮定した場合の方が共鳴散乱の影響が小さくなることを報告した。

本講演では、He-like Fe-K α 輝線と Fe-K β 輝線についてシミュレーションを行い、加えて、ガスの乱流の空間分布に Zhuravleva et al. 2015 で得られた乱流速度を仮定した場合や Chandra 衛星によって得られた銀河団ガスの詳細な空間構造を反映した場合での共鳴散乱の影響を評価する。合わせて、He-like の共鳴線と禁制線および He-like Fe-K β 輝線の共鳴散乱による強度比の変化について議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

T10a 「ひとみ (ASTRO-H)」SXS によるペルセウス座銀河団中心部の共鳴散乱

佐藤浩介, 古川愛生, 天海公志 (東京理科大学), Hitomi (ASTRO-H) collaboration

ペルセウス座銀河団中心部では He-like Fe-K α の共鳴線の光学的厚さが 1 を超えており、もし共鳴散乱が起きているとすると He-like Fe の微細構造の輝線比が光学的に薄いプラズマモデルからずれていると考えられる。また銀河団中心部の高温ガスの乱流測定は輝線幅から求めることが直接的であるが、乱流は共鳴散乱を弱めることから共鳴散乱の「強度」を測定することで間接的に乱流の大きさを検証することもできる。SXS は、2016 年 2 月 17 日に打ち上げられた「ひとみ (ASTRO-H)」衛星搭載の X 線マイクロカロリメータアレイであり、軌道上でも優れたエネルギー分光能力を実現した (飛翔体観測: 辻本講演)。SXS は鉄輝線などの微細構造も分離できるため、輝線幅から乱流速度を求めることだけでなく、共鳴線とその他の輝線比から共鳴散乱の「強度」も初めて測定することが可能となった。

「ひとみ (ASTRO-H)」SXS では、計 230 ksec ペルセウス座銀河団の中心部を観測し、中心核付近を除く領域で 164 ± 10 km/s とガスの乱流速度を決定した (Hitomi collaboration 2016, 松下講演)。一方、得られた He-like Fe-K α の共鳴線と禁制線、及び K- β のライン比は光学的に薄いプラズマモデルから期待される比よりも共鳴線が弱いことが明らかになった。我々はいくつかの乱流速度の半径分布やコアの運動を仮定することで、共鳴線と各輝線の比がどのように変化するかをシミュレーション結果 (古川講演) と比較した。特に He like Fe-K β は共鳴散乱の影響を受けにくいので、共鳴散乱の「強度」を調べるのに有用である。本講演ではシミュレーションで得られた鉄の輝線比と実際に SXS を用いたペルセウス座銀河団の観測で得られた鉄の輝線比との比較を行う。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

T11a **Geant4を用いた楕円銀河中心における共鳴散乱の影響の評価**

寺前拓人、深澤泰司、宮岡敬太（広島大学）

楕円銀河はX線で明るい高温ガス (ISM:InterStellar Medium) を有することで知られ、これまで数々の楕円銀河に対してX線観測が行われてきた。2002年、楕円銀河NGC4636内の観測から、銀河中心ISMからの $Fe^{16+}:0.826\text{keV}$ の輝線が共鳴散乱の影響を受けていることが「XMM-Newton」RGSのデータ解析により明らかにされた (Xu et al,2002)。後に「すざく」XISのデータを用いた解析からも類似した結果が確認され (Hayashi et al,2008)、また他の楕円銀河 (NGC4472,1404等) においても同じく共鳴散乱の存在を示唆する結果が報告された (Werner et al,2009)。共鳴散乱は輝線の放射方向をランダム化する現象であり、観測的には共鳴散乱の影響を受けた輝線のみ地球に届く輝線が減少する。共鳴散乱断面積は振動子強度 f に依存し、故に銀河中心から放射される $Fe^{16+}:0.727\text{keV}(f=0.12)$ の輝線と $Fe^{16+}:0.826\text{keV}(f=2.73)$ の輝線の強度を比較することで、共鳴散乱の影響を定量的に計測することが出来る。共鳴散乱の頻度は銀河中心で起こる乱流と負の相関を持ち、乱流の発生は銀河中心へのジェットの衝突が原因の一つとして挙げられているため、本研究の結果から銀河中心に衝突したジェットの情報を得ることが期待できる。故に本研究では、NGC4636を始めとする12の楕円銀河に対して共鳴散乱の影響の評価を行った。昨年の秋季年会にて「すざく」XIS、「XMM-Newton」RGSのデータを用いた解析結果の発表を行った。今回は、対象の12の楕円銀河に対し「XMM-Newton」EPICのデータを用いてガス密度の導出を行い、Optical depthを評価すると共に、シミュレーションツール「Geant4」を用いて、高温ガス中での鉄ライン共鳴散乱のシミュレーションを行い、乱流と共鳴散乱の影響を調べ、実際の観測データとの比較を行った。本講演では、これらについて報告する。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

【U. 宇宙論】

9月14日(水) 午前(11:00-13:00) [E会場]

U01a	11:00	粒子の質量と電磁気の質量の統一 小堀しづ
U02a	11:12	CMB 観測を用いたスカラーテンソル理論への制限 大場淳平(名古屋大学)
U03a	11:24	Oscillations in the CMB angular power spectra at $l \sim 120$ 堀口晃一郎(名古屋大学)
U04a	11:36	POLARBEAR 実験による重力レンズ起源 B モード偏光観測の最新結果と将来計画 茅根裕司(カリフォルニア大学バークレー校)
U05a	11:48	BICEP2/Keck Array Results VIII: 重力レンズ効果の検出 並河俊弥(Stanford University)
U06a	12:00	21cm-galaxy(LAE) cross-correlation を用いた宇宙再電離期の観測 久保田賢志(熊本大学)
U07a	12:12	赤方偏移空間における3点統計の理論モデルの検証 橋本一彦(京都大学)
U08a	12:24	赤方偏移空間における銀河分布からのダークマターハローのパワースペクトルの再構築 奥村哲平(東京大学)
U09a	12:36	H0LiCOW: H_0 Lenses in COSMOGRAIL's Wellspring – Analysis of the Time-Delay Lensed Quasar HE 0435-1223 Kenneth Wong (NAOJ)
U10b	12:48	全天重力レンズマップの作成2 高橋龍一(弘前大学)
U11b	12:48	原初超巨大ブラックホールと銀河の活動性 中道晶香(京都産業大学)

9月14日(水) 午後(15:00-15:36) [E会場]

U12a	15:00	弱重力レンズ効果による超ボイドの重力的撮像 井上開輝(近畿大学)
U13a	15:12	弱重力レンズ効果とスニヤエフ・ゼルドビッチ効果の併用による銀河団質量精密測定に向けて: 数値シミュレーションを用いた模擬解析 白崎正人(国立天文台)
U14a	15:24	アンドロメダ銀河の広視野深探索観測による原始ブラックホール探索 新倉広子(東京大学)

U01a 粒子の質量と電磁気の質量の統一

小堀しづ

地表に於いて、電子のラブは電磁気数が 7.028×10^{17} 個できている。そしてミューニュートリノの電磁気数は 1.264×10^{15} 個である。タウニュートリノの電磁気数は 7.202×10^{15} 個である。それなら、ミューニュートリノとタウニュートリノも質量を持っているのではないだろうか。陽子の中のクオークの電磁気数は 6.249×10^8 個です。それで、クオークも質量を持っているのではないだろうか。電磁気数が多い粒子は質量を持っているなら、電磁気にも質量が有る事に成る。 $E=mc^2$ と粒子の軌道エネルギー $= 8.665 \times 10^{-24} \text{Jm}$ の式より導かれる式。ラブのエネルギー $= 8.665 \times 10^{-24} \text{Jm} \div \text{軌道}$ 。この式に $E=mc^2$ を代入する。ラブのエネルギー $= mc^2 = 8.665 \times 10^{-24} \text{Jm} \div \text{軌道}$ 。 $m = 8.665 \times 10^{-24} \text{Jm} \div \text{軌道} \div c^2 = 8.665 \times 10^{-24} \text{Jm} \div \text{軌道} \div (9 \times 10^{16}) = 9.628 \times 10^{-41} \text{Jm} \div \text{軌道}$ 。 $m = 9.628 \times 10^{-41} \text{Jm} \div \text{軌道}$ 。この式により粒子1個の質量を計算する。

$E=mc^2$ と電磁気の軌道エネルギー $= 1.233 \times 10^{-41} \text{Jm}$ の式より導かれる式。電磁気のエネルギー $= 1.233 \times 10^{-41} \text{Jm} \div \text{軌道}$ 。この式に $E=mc^2$ を代入する。電磁気のエネルギー $= mc^2 = 1.233 \times 10^{-41} \text{Jm} \div \text{軌道}$ 。 $m = 1.233 \times 10^{-41} \text{Jm} \div \text{軌道} \div c^2 = 1.233 \times 10^{-41} \text{Jm} \div \text{軌道} \div (9 \times 10^{16}) = 1.370 \times 10^{-58} \text{Jm} \div \text{軌道}$ 。 $m = 1.370 \times 10^{-58} \text{Jm} \div \text{軌道}$ 。この式より電磁気1個の質量を計算する。電磁気1個は1個の粒子です。電子のラブとミューニュートリノとタウニュートリノと各種のクオークの粒子1個の質量と電磁気1個の質量を計算する。(特願 2016 - 003081 と特願 2016 - 026470)

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

U02a CMB観測を用いたスカラーテンソル理論への制限

大場淳平, 市来浄與, 杉山直, 千葉剛 (日大文理)

超弦理論が想定する高次元重力理論からは、一般相対性理論を極限に持つような様々な修正重力理論が示唆されており、観測からこれらを制限することは重力理論の解明のために非常に重要である。そこで、修正重力理論と一般相対性理論とのずれをモデルパラメータで記述し、観測結果を用いて制限を与える。

本研究では、修正重力理論のモデルとしてスカラーテンソル理論に着目し、Planck衛星による宇宙マイクロ波背景放射(CMB)の温度揺らぎ、偏光、レンズングの観測データを用いて、モデルパラメータへの制限を行った。また、スカラーテンソル理論は、観測される重力定数が時間発展するという特徴を持っているので、現在の重力定数 G_0 とCMBが放射された時代の重力定数 G_{rec} とのずれについてもモデルパラメータへの制限と同様にして制限を与えた。

結果として、現在における一般相対性理論とのずれを表すモデルパラメータ α_0^2 に対して $\alpha_0^2 < 2.5 \times 10^{-4-4.5\beta}$ (95.45% C.L.)、および $\alpha_0^2 < 6.3 \times 10^{-4-4.5\beta}$ (99.99% C.L.) という制限が $0 < \beta < 0.4$ の範囲で得られた。重力定数については、 $G_{\text{rec}}/G_0 < 1.0056$ (95.45% C.L.)、および $G_{\text{rec}}/G_0 < 1.0115$ (99.99% C.L.) という制限が得られた。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

U03a **Oscillations in the CMB angular power spectra at $l \sim 120$**

堀口晃一郎, 市來淨與 (名古屋大学), 横山順一 (RESCEU)

宇宙マイクロ波背景放射 (CMB) は全天からくる 2.725 ケルビンの黒体放射として観測され、宇宙初期の高温状態の名残としてよく知られている。CMB の温度揺らぎ ($\Delta T/T \sim 10^{-5}$) の角度パワースペクトルが観測されたことで、これらは初期宇宙の物理を探る鍵として盛んに研究されてきた。近年では Planck 衛星等による精密観測も行われ、CMB の角度パワースペクトルは偏光も含めて揺るぎない精度で観測されている。

しかし、CMB 角度パワースペクトルには、標準宇宙論モデルから予測されるスペクトルから大きくずれている部分が存在する。このようなずれの中でも WMAP 衛星の時代から示唆されている multipole $l \sim 120$ 付近の CMB 角度パワースペクトル振動の振動に着目する。本研究では振動を初期揺らぎのパワースペクトルの振動に由来するものと見なして振動をモデル化し、Planck 衛星の 2015 のデータを用いて MCMC 解析を行った。結果として WMAP 衛星のデータにより示唆されていたものと同様に $l \sim 120$ に $\Delta l \sim 5$ 程度の幅を持つ振動が存在することを見出した。本発表ではこれらの結果について宇宙論パラメータとの関連も含めて詳しく議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

U04a **POLARBEAR 実験による重力レンズ起源 B モード偏光観測の最新結果と将来計画**

茅根裕司, 高倉理 (阪大理学部), 田島治 (KEK 素核研), 羽澄昌史 (KEK 素核研), 長谷川雅也 (KEK 素核研), 西野玄記 (KEK 素核研), ほか POLARBEAR Collaboration

POLARBEAR 実験はインフレーション仮説の検証、及びニュートリノ総質量の測定を目指した実験である。その実現の為、宇宙マイクロ波背景放射 (Cosmic Microwave Background radiation, CMB) の偏光観測をチリのアタカマ砂漠、標高 5,200m で行っている。POLARBEAR 実験は、超高感度な 1274 個の超伝導検出器 (transition-edge sensor=TES bolometer) と 3.5 m の専用望遠鏡 (FWHM=3.5 arcmin) を用いることで、インフレーション仮説の検証に繋がる原始重力波起源 B モード偏光 (大角度スケール)、およびニュートリノ総質量測定に繋がる重力レンズ起源 B モード偏光 (小角度スケール) の両方を測定することが可能なユニークな実験である。2012 年から 2014 年までは重力レンズ起源 B モード偏光に特化した deep survey 観測、2014 年からは原始重力波起源 B モード mode 偏光に特化した wide survey 観測を実施してきた。

2014 年春季年会に於いて、初年度のデータ解析による世界で初めての重力レンズ起源 B モード偏光の自己相関スペクトルを報告し、また 2015 年秋季年会に於いては新たに宇宙論的複屈折効果 (Cosmic Birefringence) の探索結果を報告してきた。本発表では引き続き最新の解析結果、特に重力レンズ起源 B モード偏光の結果を報告し、また将来計画の展望についても述べる。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

U05a

BICEP2/Keck Array Results VIII: 重力レンズ効果の検出

並河俊弥 (Stanford University)、他 BICEP2 / Keck Array Collaborations

宇宙マイクロ波背景放射 (CMB) の温度・偏光揺らぎのパターンは、大規模構造の重力場によって弱い重力レンズ効果を受け歪められる。この歪みを統計的に解析することで重力レンズ効果を測定し、ニュートリノ質量や暗黒エネルギーの性質を探ることが可能となる。また、インフレーション起源の原始重力波を測定する上でも、重力レンズの精密測定が重要である。原始重力波は CMB の偏光度分布に B モードと呼ばれる渦上のパターンを残すが、重力レンズも同様に B モードを生成する。数十度角以上の大角度スケールでは、テンソルスカラー比 0.01 以下の重力波 B モードは重力レンズ B モードに埋もれてしまう。重力波検出感度を向上する上で、前景放射の除去や系統誤差の抑制と同時に、重力レンズ効果の測定・除去 (delensing) の必要性も認識されている。

本講演では、delensing の前段階として、BICEP2/Keck Array (以下 BK) 実験により 2010 年から 2014 年にかけて測定された高精度偏光マップからの重力レンズ検出について発表する。これまでは、大口径の望遠鏡を用いて重力レンズ効果の影響が大きい小スケールの CMB 揺らぎを精密に測定することで重力レンズを測ってきた。一方、BK 実験はそのような小角度スケールの揺らぎを分解できない。そこで発表者らは、高精度で測定された B モード偏光を使い、小角度の揺らぎを分解することなく重力レンズの検出を行った。今回の解析結果は、BICEP2 / Keck Array Collaborations (2015) で報告された $\ell = 150 - 350$ 付近の B モードが重力レンズ起源であることを示す。可能であれば、本解析で得られた重力レンズマップ等による将来の delensing の展望についても紹介する。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

U06a 21cm-galaxy(LAE) cross-correlation を用いた宇宙再電離期の観測

久保田賢志, 吉浦伸太郎, 高橋慶太郎 (熊本大学), 長谷川賢二 (名古屋大学)

宇宙は晴れ上がり以降、電氣的に中性な暗黒時代を経るが、その後誕生した星や銀河の放射により宇宙に豊富に存在する中性水素が電離し、宇宙は電離した状態になった。これを宇宙再電離といい、この時代は未だ詳細な観測が行われておらず、再電離を引き起こした初代天体の数密度や質量関数、放射効率などは分かっていない。宇宙再電離期を直接観測する方法として中性水素から放射される 21cm 線を用いた観測が考えられている。21cm 線は数年後に Murchison Widefield Array(MWA) や Low Frequency Array(LOFAR) といった電波望遠鏡による観測が予定されている。先行研究では、power spectrum や bispectrum を用いて、観測される 21cm 線の強度分布の空間的揺らぎを統計的に解析することで上記の初代天体に関する情報を引き出す試みが行われてきた。

しかしながら、実際の 21cm 線の観測では銀河系シンクロトロン放射や系外電波などの強烈な前景放射が伴い、21cm 線シグナルの検出は極めて困難である。そこで、本研究では前景放射の影響を弱めるために、21cm 線強度分布と高赤方偏移の銀河分布との相互相関 (cross-correlation) に注目する。21cm 線と銀河分布には逆相関があると考えられており、一方で 21cm 線の観測における前景放射と銀河観測における前景放射は無相関であると考えられている。したがって、21cm 線と銀河分布の cross-correlation を取ることで前景放射の影響を低減することができ、21cm 線の検出が期待される。また、銀河観測においては、すばるの Hyper Suprime-Cam(HSC) により Lyman- α emitter(LAE) と呼ばれる銀河の高解像度観測が予定されている。

そこで我々は、MWA による 21cm 線の観測及び HSC による LAE の観測を想定し、21cm 線シグナルの検出に向けて 21cm 線と LAE の cross-correlation を用いた解析を行った。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

U07a 赤方偏移空間における3点統計の理論モデルの検証

橋本一彦, 樽家篤史 (京都大学基礎物理学研究所), Yann Rasera (Paris Observatory)

Ia型超新星などによって観測される現在の宇宙の加速膨張が、どのような機構によって実現されているのかは、現代の宇宙論に残された大きな謎の一つである。銀河の赤方偏移サーベイは、赤方偏移空間での銀河分布の非等方性から宇宙論的スケールでの重力理論を検証することができ、加速膨張の起源がダークエネルギーによるものか一般相対論の修正によるものかを明らかにするための鍵となり得る。

これまで、赤方偏移サーベイの観測データの解析には、銀河の個数密度ゆらぎの2点相関、あるいはそのフーリエ変換であるパワースペクトルが用いられてきた。この2点相関と3点相関(バイスペクトル)を組み合わせると、2点相関のみの場合と比べ重力理論の制限を、弱非線形領域の情報にかぎっても2倍程度強めることができると示されている (Song et al. 2015)。したがって、弱非線形領域において精密なバイスペクトルの理論モデルが作成できれば、将来観測による重力理論の制限を飛躍的に強めることができる。

本研究では、赤方偏移サーベイによるバイスペクトルの精密理論モデルの構築を目指している。赤方偏移サーベイでは赤方偏移空間歪みと呼ばれる効果により、摂動論に基づく理論モデルではパワースペクトルにおいても、深刻な系統誤差が生じてしまう (Taruya et al. 2010)。本研究ではこの効果を取り入れるために、従来よりも高次の摂動論に基づくバイスペクトルの計算に、指数関数的な減衰の効果をつけ加えた理論モデルを作成した。本講演では、銀河バイアスなどの不定性の少ない物質密度ゆらぎにこの理論モデルを応用し、N体シミュレーションとの比較から理論モデルの妥当性を検証した結果を報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

U08a 赤方偏移空間における銀河分布からのダークマターハローのパワースペクトルの再構築

奥村哲平, 高田昌広, Surhud More (カブリ IPMU), 正木彰伍

銀河サーベイの直接の観測量である銀河の赤方偏移空間パワースペクトルの精密モデリングは、大規模構造から宇宙論的情報を引き出すために重要である。しかし、そのモデリングは非線形バイアスや非線形赤方偏移効果の影響を受けるため複雑になる。特に、モデリングを困難にする原因の一つが、大きいダークマターハローにあるサテライト銀河の存在である。サテライトはハロー内に広がって存在しており、Finger-of-god (FoG) と呼ばれる大きなピリアル速度を持つ。従来の方法では、FoG 効果によるパワースペクトルの減衰効果を、ガウシアンなど経験的な関数を仮定してモデルされてきた (たとえば Okumura, Hand, Seljak et al 2015)。

本講演では、このような仮定をせずに、赤方偏移空間の銀河とハローのパワースペクトルの間のギャップを埋める方法を紹介する。これは、従来の手法とは逆に、観測した銀河分布からサテライト銀河を取り除き、ハローパワースペクトルを再構築するというものである。我々は、まず Counts-in-Cylinders (CiC) という方法を用いてハローを同定し、サテライト銀河を除いた (Reid & Spergel 2009)。これは、シミュレーションでハローを同定する際の Friends-of-friends 法と原理は同じであるが、銀河の特異速度による視線方向の displacement (赤方偏移変形) を考慮するために、球の代わりに視線方向に長いシリンダーを考えたものである。そして、シリンダーの形状に由来する非当方性の効果を、シリンダーの形のウインドウ関数を用いて補正を行った。この手法を、SDSS-III Baryon Oscillation Spectroscopic Survey のサンプルに似せたモックカタログに適用した結果、 $k \sim 0.3h/\text{Mpc}$ まで正しくハローのスペクトルを再構築できることを発見した。本講演では、この結果の詳細を報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

U09a **H0LiCOW: H_0 Lenses in COSMOGRAIL's Wellspring – Analysis of the Time-Delay Lensed Quasar HE 0435-1223**

Kenneth Wong (NAOJ, ASIAA), Sherry Suyu (MPA, ASIAA), et al.

Strong gravitational lenses with measured time delays between the multiple images allow a direct measurement of the so-called time-delay distance to the lens, and thus a measure of cosmological parameters, particularly the Hubble constant, H_0 . An independent determination of H_0 is key to probing dark energy, neutrino physics, and the spatial curvature of the Universe. Our project, “ H_0 Lenses in COSMOGRAIL's Wellspring” (H0LiCOW), aims to measure H_0 to $< 3.8\%$ accuracy from five lens systems. We have acquired deep *Hubble Space Telescope* imaging to perform a blind analysis of HE 0435-1223, the third system in the H0LiCOW sample. With accurate time delay measurements from the COSmological MONitoring of GRAvitational Lenses (COSMOGRAIL) project, a measurement of the velocity dispersion of the lens galaxy based on Keck/LRIS data, and a characterization of the mass distribution along the line of sight from a photometric and spectroscopic survey of the field, we constrain the time-delay distance to $\sim 8\%$ precision. Future analyses of the full sample of five H0LiCOW lenses will establish time-delay lenses as an independent and competitive probe of cosmology and set the stage for the hundreds of new time-delay lenses expected to be discovered in ongoing and future surveys.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

U10b 全天重力レンズマップの作成 2

高橋龍一, 浜名崇 (国立天文台), 白崎正人 (国立天文台)

遠方銀河の像の歪みを用いた弱い重力レンズ (cosmic shear) は、宇宙の未知の構成要素であるダークマターやダークエネルギーの性質を探る強力な手法として使われている。遠方銀河の像は手前のダークマターの揺らぎを通過すると、重力レンズ効果により形が歪む。そのため、遠方銀河の形の歪みを統計的に調べることにより、宇宙の全物質や密度揺らぎの振幅を測ることができる。これまでで最大規模の弱い重力レンズサーベイは CFHTLS 計画で、観測領域は約 150 平方度である (全天は約 40000 平方度)。しかし、近年ふたつの大規模サーベイが始まっており、どちらも視野はこれまで (CFHTLS) より 1 ケタ以上広い。ひとつはすばる望遠鏡を用いた HSC 計画で、5 年間で約 1500 平方度の面積を観測する計画である。もう一つは DES 計画で、チリの望遠鏡で 5 年間で約 6000 平方度を観測する計画である。また、2020 年代には LSST が観測を開始する予定で、ほぼ全南天 (20000 平方度) を観測する計画である。このように、全天に匹敵するような広視野銀河サーベイが始まるにあたり、全天重力レンズシミュレーションの重要性は高まっている。

本研究ではまず数値シミュレーションを用いて、ダークマターによる宇宙の大規模構造を作成した。次に非一様宇宙を伝播する光の重力レンズシミュレーションを行い、角度分解能が約 0.5 分角の全天マップを用意した。合わせて重力レンズを受けた宇宙背景放射の全天マップも作成した。重力レンズの計算は公開されているコード GRaytrix (Shirasaki+ 2015) を用いた。本ポスターでは全天マップを用いた銀河形状の歪み (shear) の相関関数や、銀河銀河レンズ (galaxy-galaxy lensing)、宇宙背景放射の温度・偏光揺らぎのパワースペクトルの結果を紹介する。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

U11b 原初超巨大ブラックホールと銀河の活動性

中道晶香（京産大神山天文台）、森川雅博（お茶大理）

超巨大ブラックホール (SMBH) は、銀河の中心に位置し、その銀河の質量、速度分散などを決める。そこで我々は、SMBH が先に生成され、そのジェットが星生成を制御するというシナリオを考え検証を進めてきた。

講演では特に、SMBH による銀河形成論と通常の階層的合体成長論の違いを以下の視点で明確にしていく。

1．SMBH 形成：我々は暗黒物質 (DM) が量子凝縮して、早期に成熟した SMBH ができるシナリオをとる。量子乱流の持つ普遍的スケール依存性から、DM ハローと SMBH の関係を導く。SMBH のダウンサイジングの観測と比較しながら、合体成長する SMBH シナリオとの違いを議論する。2．銀河のダウンサイジング：SMBH による銀河形成モデルを考察する。このモデルの大きな非線形性によって、大きな SMBH の方が星生成活動が爆発的であり、銀河形成が速く完結するという帰結を得る。観測されている様々な天体要素のダウンサイジングの詳細からモデルを検証する。3．クランピー銀河：SMBH が作るジェットなどでトリガーされた爆発的星団形成のサイズを見積もる。これを高赤方偏移銀河がかなり普遍的に持つクランプ性の観測から検証する。特に鎖銀河の高い1次元性とジェットの指向性、間歇性との関連を中心に議論する。4．SMBH を持つ天体と持たない天体：我々のモデルによると、この両者は明確である。SMBH はジェットを介してその周辺に爆発的に星形成する塊を作る。この一部が落下して銀河本体や古典バルジを作る。従って、ジェットの根元には SMBH を持つ天体（楕円銀河や渦巻銀河）が、先端には SMBH 無しの天体が形成され易い。この位置関係を観測から検証する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

U12a 弱重力レンズ効果による超ボイドの重力的撮像

井上 開輝 (近畿大), 西澤 淳 (名古屋大), 浜名 崇 (国立天文台), 樋口 祐一 (ASIAA), 宮武 広直 (NASA JPL/Caltech)

WMAP 衛星によって測定された宇宙マイクロ波背景放射の大角度温度ゆらぎには3シグマ程度の有意性ではあるものの、非ガウスの性質があることが確認されている。その一つが「コールドスポット」(CS)と呼ばれる低温領域であり、その起源として「超ボイド説」(Inoue & Silk 2006)が提唱されている。昨年、WISE-2MASS 赤外銀河カタログと Pan-STARRS1 銀河を用いて銀河の3次元分布を測定した結果、CS 方向に赤方偏移 $z = 0.22$ 、半径が $220\text{Mpc}/h$ 程度の巨大な低密度領域が見つかった (Szapudi et al. 2015)。もし、この発見が正しければ「超ボイド説」を裏付ける有力な観測的証拠となり、3シグマ程度の有意性で原始密度ゆらぎに非ガウス性が存在することになる。しかし、解析に使われた銀河の赤方偏移は分光学的な測定ではないため誤差が大きく、確定的な結論を出すには到っていない。我々は、この超ボイドの非ガウス性をより精度良く測定するため、弱重力レンズ効果によるCS周辺の質量ゆらぎの重力的撮像を提案する。ボイドを取り巻く壁周辺の表面密度を接線シアの測定により、精度高く求めることが出来れば、超ボイドの非ガウス性に対し、より直接的な制限を付けることが出来る。本講演では、CSと光源になる銀河の間の質量ゆらぎによるノイズなどの系統的誤差の評価および、Subaru-HSCによる超ボイド観測の実現可能性について述べる。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

U13a 弱重力レンズ効果とスニヤエフ・ゼルドビッチ効果の併用による銀河団
質量精密測定に向けて：数値シミュレーションを用いた模擬解析

白崎正人 (国立天文台), 永井大輔, Erwin Lau (Yale 大学)

銀河団は、100 個程度の銀河が数 Mpc の領域に集まって構成される宇宙最大の自己重力系である。銀河団の質量に対する数密度は質量関数と呼ばれ、宇宙論モデルに依存することが期待されている。銀河団の質量推定では、しばしば静水圧平衡などの物理的な仮定を用いて、銀河団観測量から質量が見積もられてきた。しかし、この手法から生じる系統誤差は、既存観測での銀河団質量関数の推定において主要な不定性として認知されており、観測量と質量の関係を観測的に制限することが、将来観測においては最重要課題となっている。

スニヤエフ・ゼルドビッチ (SZ) 効果は、銀河団内部の高エネルギー電子が逆コンプトン散乱により宇宙マイクロ波背景放射スペクトルを歪める効果である。この観測量は、銀河団内部のガス圧力の情報を含んでおり、銀河団質量と強い相関があることが期待されている。本研究では、SZ 効果から見積もられたガス圧力と質量の関係を観測的に制限する試みとして、弱重力レンズ解析との併用を考える。重力レンズ効果は、銀河団背景にある銀河の像を歪め、その歪み度合いは視線方向の質量密度に依存する。そのため、同一銀河団の SZ 効果と弱重力レンズ効果の同時解析は、ガス圧力-質量関係を観測的に制限するために、有効な手法だと考えられる。

我々は、数値シミュレーションから得られた 33 個の模擬銀河団に、SZ 効果と弱重力レンズ効果の同時解析を適応し、真のガス圧力-質量関係を正しく再現できるかを詳細に比較した。結果としては、SZ と弱重力レンズの 2 つの観測量の間の共分散を正しく考慮しないと、得られるガス圧力-質量関係はバイアスされる可能性があることがわかった。また、これらの結果の宇宙論解析における影響も議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

U14a アンドロメダ銀河の広視野深探索観測による原始ブラックホール探索

新倉広子 (東京大学), 高田昌広, 安田直樹 (カブリ IPMU), Robert Lupton (プリンストン大学), 住貴宏 (大阪大学)

原始ブラックホール (PBH) は初期宇宙での生成が提唱されており、ダークマターの有力候補の1つである。本研究では、近傍巨大銀河であるアンドロメダ銀河 (M31) のすばる HSC 観測を用いて、PBH の重力マイクロレンズ効果により、時間変動する M31 内の星の探査を行い、天の川銀河と M31 のダークハローを構成する PBH によるマイクロレンズ現象を探査した。

HSC の1視野は M31 のディスク、バルジ領域を一度に撮ることを可能にし、集光力、高い解像度は微少な時間変動星の探査を可能にする。本観測では約2分間隔で約7時間に渡り、約190枚の画像データから時間変動天体の探査を行った。非常に星密度の高い領域での天体検出と測光を行うため、HSC のデータ解析パイプラインに基づき、開発した解析手法 (差分画像法) を用いた。また、マイクロレンズ現象の検出手法を評価し、独自の変光イベントの分類手法を確立した。

本観測の短時間サンプリングにより、恒星フレア、変光星などの稀少な短時間激変動天体を多数見つけた。一方で、マイクロレンズ現象の選択手法をデータに適用したが、本観測では検出されなかった。本観測でのイベント検出感度をシミュレーションにより評価した結果、PBH の存在量に対して、ケプラー衛星の2年間データよりも強い、今までで最も厳しい上限を課すことができた。講演では、解析結果の報告、また得られた PBH の存在量の制限について議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

【V1. 観測機器】

9月15日(木) 午前(10:18-11:30) [C会場]

V101b	10:18	野辺山 45m 電波望遠鏡搭載に向けた 90/150-GHz 帯 MKID カメラの開発 新田冬夢 (筑波大学)
V102b	10:18	1.85m 電波望遠鏡プロジェクトの開発進捗 (IX) 大西利和 (大阪府立大学)
V103a	10:30	野辺山 45m 電波望遠鏡の観測効率向上 南谷哲宏 (国立天文台)
V104a	10:42	南極 10m テラヘルツ望遠鏡計画: 建設場所 中井直正 (筑波大学)
V105b	10:54	南極 10m テラヘルツ望遠鏡ヘテロダイン受信機系の基本設計 瀬田益道 (関西学院大学)
V106b	10:54	南極 10 m テラヘルツ望遠鏡搭載用超伝導電波カメラの機械熱設計 村山洋佑 (筑波大学)
V107b	10:54	相反とは限らないアンテナの送受信特性の定式化 永井誠 (筑波大学)
V108c		南極 30 m テラヘルツ望遠鏡計画 久野成夫 (筑波大学)
V109b	11:06	1.9 THz 帯ホーン/導波路型 NbTiN-HEB ミクサ検出素子の開発 齊藤混介 (大阪府立大学)
V110b	11:06	高萩 / 日立 32 m 電波望遠鏡の整備状況 (14) 米倉覚則 (茨城大学)
V111b	11:06	水沢 10m 電波望遠鏡の Nano-JASMINE 衛星ダウンリンク局としての性能向上 亀谷収 (国立天文台)
V112b	11:18	JAXA GREAT54m アンテナ用 32GHz 帯低雑音受信機の開発 坪井昌人 (宇宙航空研究開発機構)
V113b	11:18	太陽観測に向けたミリ波単一鏡の性能測定方法の確立 岩井一正 (情報通信研究機構)
V114c		JAXA における深宇宙探査用大型アンテナの開発とその天文利用 村田泰宏 (宇宙航空研究開発機構)

9月15日(木) 午後(13:30-15:42) [C会場]

V115a	13:30	ALMA の運用 (9) と拡張計画 (3) 井口聖 (国立天文台)
V116a	13:42	ALMA-Cycle4 における太陽観測 下条圭美 (国立天文台)
V117a	13:54	ALMA パイプラインの現状 5Cycle3 の運用状況と Cycle4 からの運用へ向けて 三浦理絵 (国立天文台)
V118a	14:06	ALMA サイクル 4 に向けた単一鏡データ解析パイプラインの開発 杉本香菜子 (国立天文台)
V119a	14:18	データ解析ライブラリ Sakura の開発 (2) 川崎渉 (国立天文台)
V120a	14:30	ALMA Band 2+3, 7+8 超広帯域受信機コンポーネントの開発 長谷川豊 (大阪府立大学)
V121a	14:42	275-500 GHz 帯導波管型 SIS ミクサの設計 小嶋崇文 (国立天文台)
V122b	14:54	マルチバンド型受信機用 450 GHz 帯導波管型周波数分波器の開発 小嶋崇文 (国立天文台)
V123b	14:54	高臨界電流密度 SIS 接合を用いた Band8 ミクサの性能向上 上水と典 (国立天文台)
V124b	14:54	Current Status of ALMA Quality Assurance (AQUA) System 1 Eiji Akiyama (NAOJ)
V125a	15:06	ASTE 搭載用多色連続波カメラの開発: (6) 科学評価活動 田村陽一 (東京大学)
V126b	15:18	ASTE 搭載用多色連続波カメラの開発: (8) フラックス強度校正 石井峻 (東京大学)
V127b	15:18	ASTE 搭載用多色連続波カメラの開発: (9) キャリブレーション装置の開発 大田原一成 (国立天文台)
V128b	15:18	ASTE 望遠鏡多色連続波カメラの開発 (10): スキャンパターンの最適化と評価 山口正行 (東京大学/国立天文台)

(次頁に続く)

【V1. 観測機器】

V129b 15:30 ASTE 搭載用多色連続波カメラの開発：(11) 読み出し回路の改良 鈴木駿汰（大阪府立大学）

V130b 15:30 テラヘルツ光子計型検出器の基礎開発 江澤元（国立天文台）

V131b 15:30 光子計数型 SIS 検出器のための 0.8K 冷凍器の評価 川村祐太（総合研究大学院大学）

9月16日（金）午前（09:30-10:54）[C会場]

V132a 09:30 NASCO (NANTEN2 Super CO Survey as Legacy) の概要と進捗報告 大浜晶生（名古屋大学）

V133a 09:42 NANTEN2 マルチビーム光学系とミラーの開発 加藤千晴（名古屋大学）

V134b 09:54 CO 分子輝線観測のための 109-117 GHz 集積導波管回路の開発 長谷川豊（大阪府立大学）

V135b 09:54 NANTEN2 マルチビーム受信機のクライオスタットの開発 堤大陸（名古屋大学）

V136b 09:54 NANTEN2 マルチビーム受信機の自動チューニングシステムの開発 漆原宏亮（名古屋大学）

V137a 10:06 NASCO に向けた NANTEN2 制御系の開発: 1. 全体設計 岩村宏明（名古屋大学）

V138b 10:18 NASCO に向けた NANTEN2 制御系の開発: 2. Linux/Python 化 兵頭悠希（名古屋大学）

V139b 10:18 光線追跡ソフトウェアによる広視野電波望遠鏡のビーム性能評価 今田大皓（宇宙航空研究開発機構）

V140b 10:18 ABCD 行列を用いた LiteBIRD 水口ドラゴン光学系の更なる広視野化 鹿島伸悟（国立天文台）

V141a 10:30 CMB 偏光観測衛星 LiteBIRD フェーズ A1 に向けて 関本裕太郎（国立天文台）

V142a 10:42 CMB 偏光観測衛星 LiteBIRD における系統誤差の研究 VIII 永田竜（高エネルギー加速器研究機構）

9月16日（金）午後（13:30-15:18）[C会場]

V143a 13:30 きゃらぼん・サブミリと VLBI データ校正の確認法 II 三好真（国立天文台）

V144a 13:42 山口干渉計の構築 藤沢健太（山口大学）

V145a 13:54 広帯域フィードの開発 (XI) 氏原秀樹（情報通信研究機構）

V146a 14:06 POLARBEAR 実験:主焦点連続回転半波長板による交差偏波特性の評価 高倉理（大阪大学）

V147a 14:18 宇宙マイクロ波背景放射偏光観測実験 POLARBEAR-2 計画の進展 西野玄記（高エネルギー加速器研究機構）

V148a 14:30 宇宙マイクロ波背景放射 B モード偏光観測実験 POLARBEAR-2 におけるビームマップ測定 (2) 濱田崇穂（東北大学）

V149a 14:42 宇宙マイクロ波背景放射偏光観測実験 POLARBEAR-2 のための人工較正光源の開発 高取沙悠理（総合研究大学院大学）

V150a 14:54 高感度大気水蒸気モニター “KUMODeS” の開発 – 長期試験観測 長崎岳人（高エネルギー加速器研究機構）

V151a 15:06 太陽系地球型惑星の中層大気環境監視プロジェクト SPART の進捗報告 前澤裕之（大阪府立大学）

V101b 野辺山 45m 電波望遠鏡搭載に向けた 90/150-GHz 帯 MKID カメラの開発

新田冬夢, 中井直正, 久野成夫, 永井誠, 村山洋佑 (筑波大学), 関本裕太郎, 福嶋美津広, 三ツ井健司, 都築俊宏, 野口卓, 松尾宏, Agnes Dominjon, Wenlei Shan, 長谷部孝 (国立天文台), 関口繁之, Shibo Shu, 清水貴之 (東京大学), 成瀬雅人, 伊藤和雅, 増田聖 (埼玉大学), 川崎繁男, 宮地晃平, 岡田則夫 (宇宙航空研究開発機構)

我々は銀河の広域探査を目標に、野辺山 45m 電波望遠鏡に搭載するための 90/150- GHz 帯ミリ波カメラの開発を進めている。本ミリ波カメラは南極望遠鏡用電波カメラに向けての技術開発でもある。カメラの冷却系には Gifford-McMahon 冷凍機と希釈冷凍機を用いており、45m 電波望遠鏡の M4 焦点 (F/6) から検出器焦点面 (F/3.4) を直径 300 mm (@4 K) と直径 200 mm (@1 K) のシリコンレンズで結合する光学系となっている。これまでの開発で、赤外遮断フィルターの構成や迷光を反射するバップルの取り付けなどを工夫することで、直径 195 mm の真空窓が開いた状態で焦点面温度は 65 mK を達成している (山田他, 2016 年春季年会)。

カメラの検出器として力学インダクタンス検出器 (MKID) の開発を進めている。カメラは 80-180 GHz 帯をカバーする広帯域コルゲートホーンアレイ、SOI (silicon on insulator) ウェハ上に成膜された平面 OMT (偏波分離器), マイクロストリップ周波数分離フィルター, Al/Nb ハイブリッド MKID で構成される。ホーンアレイについては常温測定で円対称なビームかつ -20 dB 以下の交差偏波を達成している。1 つのホーンにつき、2 偏波、フィルターで分離された 90, 150- GHz 帯の 2 バンドを合わせて 4 つの MKID で検出する。また、観測で用いる高速フーリエ変換を用いた多素子読み出し回路の評価も進めている (永井他, 2016 年春季年会)。今年度は 4 ビームで計 16 素子、来年度は 37 ビームで計 148 素子の搭載を目標にしている。本講演では、開発の詳細について報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V102b 1.85m 電波望遠鏡プロジェクトの開発進捗 (IX)

大西利和, 長谷川豊, 徳田一起, 原田遼平, 森岡祐貴, 高橋諒, 井上将徳, 高田勝太, 本間愛彩, 黒田麻友, 上田翔汰, 阿部安宏, 木村公洋, 村岡和幸, 前澤裕之, 小川英夫 (大阪府立大学), 西村淳 (名古屋大学), 土橋一仁, 下井倉ともみ (東京学芸大), 1.85m 鏡グループ

我々は、口径 1.85m のミリ波・サブミリ波電波望遠鏡 (以下、1.85m 鏡) を開発し、野辺山宇宙電波観測所内にて運用している。本望遠鏡は、230 GHz 帯の複数輝線同時観測が可能となっており、 ^{12}CO , ^{13}CO , C^{18}O ($J = 2-1$) の 3 輝線同時観測から、近傍分子雲や銀河面のサーベイなどを推進してきた。両偏波受信機の搭載による観測効率の向上や、帯域幅 2.5 GHz の広帯域分光計の導入による銀河中心等の広速度幅ターゲットへの対応など、銀河面全面マッピングに向けた望遠鏡システムの開発/改良を推進してきた。そして、これまでの運用において約 1500 平方度の観測に成功し、分子ガスの薄く広がった成分からより星形成に直結していると思われる密度の高い ($\sim 10^4 \text{ cm}^{-3}$) 領域までの連続的な性質が明らかになりつつある。また 1.85m 鏡の結果を軸にした大口径望遠鏡での追観測も精力的に実施している (Shimoikura et al. 2013, 徳田ほか 本年会)。1.85m 鏡受信機は 230GHz 帯域用の新方式導波管セプタム型 Circular Polarizer, 及び導波管型帯域分離フィルタによる新サイドバンド分離方式を新たに採用し、 ^{12}CO , ^{13}CO , C^{18}O ($J = 2-1$) の両円偏波・両サイドバンド分離受信を目指している。また、2016 年度観測シーズン後半には、CO 以外の微量分子も含めた同時観測システムの搭載も予定しており、これを用いた広域観測を開始を目指して現在開発を進めている。さらに最小限の時間/人的コストでシーズンを通して装置等を安定可動させるために、観測プログラムの更なる改良や、レドーム内空調システムの増強、IF 系の改良等を行っている。本講演では 1.85m 鏡で現在行っている開発進捗および将来計画について紹介する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V103a 野辺山 45m 電波望遠鏡の観測効率向上

南谷哲宏、齋藤正雄、梅本智文、宮澤千栄子、西谷洋之、神澤富雄、半田一幸、和田拓也、御子柴廣、宮本祐介、金子紘之、藤井泰範、高橋敏一、飯塚吉三、新関康昭、岩下浩幸、浅山信一郎（国立天文台）、小川英夫、木村公洋、村岡和幸、上月雄人、松本貴雄、長谷川豊、高橋諒、井上将徳、（大阪府立大）、西村淳、中島拓（名大）

野辺山 45m 電波望遠鏡は、運用開始から 30 年以上経過した現在も、日々、性能向上の努力が続けられている。昨シーズン（Season 2015-2016）、我々は、（1）ホログラフィー測定に基づく鏡面調整、（2）ビーム伝送系鏡面の反射率の向上、（3）新マルチビーム受信機 FOREST の導入・共同利用観測への提供、を行い、共同利用観測においても、従来の 6 倍以上のマッピング・スピードを達成したので、これらについて報告する。

ホログラフィー測定は、CS 衛星からの 19GHz 帯の信号を利用して行い、測定結果に基づいて、主鏡面を構成する約 600 枚のパネルに取り付けられたアクチュエーターを手動で調整した。測定と調整を繰り返し、当初の鏡面誤差 $190\mu\text{m rms}$ から $80\mu\text{m rms}$ まで改善した。これにより、100GHz 帯において、主ビーム能率、開口能率は、5-10 ポイント程度改善した。ビーム伝送系の第 2、第 3 反射鏡は、CFRP に導電性塗料を塗布した回転楕円鏡であったが、これに金属箔を貼ることにより、反射率の向上を実現し、100GHz 帯における光学系起因の雑音温度を 13K 程度下げること成功した。新マルチビーム受信機 FOREST は、4 ビーム・両偏波・2SB 受信機であり、近年 100GHz 帯の主力受信機となっている、TZ 受信機に比べて 4 倍のマッピング観測効率を実現しており、Season 2015-2016 から共同利用観測への提供を開始した。これらの向上により、同じノイズレベルを得るために必要なマッピング観測時間は、従来のおよそ 1/6 以下になると見込まれる。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V104a 南極 10m テラヘルツ望遠鏡計画：建設場所

中井直正、久野成夫、新田冬夢、永井誠（筑波大学）、瀬田益道、Dragan SALAK（関西学院大学）、関本裕太郎（国立天文台）、徂徠和夫（北海道大学）、南極天文コンソーシアム

南極内陸部の高原地帯は標高が高く（3000m～4000m）、気温が低い（-20～-80）ため水蒸気量が極めて少なく、サブミリ波観測は年間を通して可能であり、冬期はテラヘルツ波観測も地上で唯一可能である。また晴天率も非常に高く、風は比較的弱いため、望遠鏡を設置して天文観測を行うには優れた場所である。我々はこちらに口径10mのテラヘルツ望遠鏡を建設して特に遠方宇宙の銀河の掃天観測を行い、銀河の形成と進化、活動的銀河中心核とブラックホール形成などの解明を行うことを計画している。高速高感度で掃天観測が可能のように主鏡に回転双極面を用いたリッチークレッチアン光学系を採用して視野1度を実現し、また大規模な電波カメラを搭載予定である。

建設場所として当初は日本の（新）ドームふじ基地を想定して準備を進めてきたが、第9期南極観測計画などにおいて当面は当該基地の建設は困難な状況となったので、既存の基地であるドームCの仏伊のコンコルディア基地に建設することとした。輸送はオーストラリア、ニュージーランドまでは日本が担当し、それ以降ドームCまではフランス（物資：仏観測船と雪上輸送）とイタリア（人員：航空機・伊観測船）が担当する。現地での建設は、雪面を堅く圧雪した地盤を3～4年かけて作った上に水平調整のできる高床式の台の上に望遠鏡を建設する予定である。建設に必要な重機等はすでにそろっている。詳細な手順等はフランス、イタリア側と詰めているところであるが、10m テラヘルツ望遠鏡を輸送、建設、運用する目途は立っている。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V105b 南極 10m テラヘルツ望遠鏡ヘテロダイン受信機系の基本設計

瀬田益道、中川直登、Dragan SALAK (関西学院大学)、中井直正、久野成夫、永井誠、新田冬夢 (筑波大学)、関本裕太郎 (国立天文台)、今田大皓 (ISAS/JAXA)、南極天文コンソーシアム

我々は、寒冷 (平均温度 -50°C 以下) な高地 (標高 3200m 以上) の南極大陸内陸部の高原地帯に 10m 級のテラヘルツ望遠鏡を設置する計画を進めており、現在ドーム C が建設予定地である。ドーム C は南緯 74 度に位置し、大気中の水蒸気が少なく、晴天率や大気の安定度も高くテラヘルツ帯の観測適地である。1THz 以下の大気の窓は通年観測が可能であり、1THz を超える周波数域も冬期には観測が可能である。10m 鏡は、リッチクレチアン式を採用し 1° の広視野で、観測周波数 1.5THz (空間分解能 5 秒角) までの観測を目指している。光学系は、2 個のナスミス焦点を持ち、それぞれに、電波カメラ系及びヘテロダイン受信機系を設置する。

ヘテロダイン受信機システムは、ALMA の観測バンド 7 (275-373GHz) 10 (787-950GHz) に加え、1010-1060GHz、1260-1380GHz、1440-1540GHz の受信機を搭載し、1km/s 以下の速度分解能での分光輝線観測を行う。冷却受信機は、南極での電力の低減要求を満たしながら、ミキサー周りの部品をユニット化したカートリッジを複数搭載する。冷却受信機は、主焦点位置に加え、伝送光学系を用い、3 個の受信機ポートに設置する。各受信機ポートは、伝送光学系に関しては受信機位置及び副鏡で周波数に依存しない設計とし、偏波の選択で 2 バンド同時観測できる。機械的なインターフェイスも標準化し、大規模な改修無しでの将来の新受信機への発展性を考慮している。中間周波数帯域は 4-12GHz、分光観測幅は 2.5GHz 以上とし、観測開始時は、バンド 8 (385-500GHz) 及び開発中のバンド 10 (787-950GHz) 2SB カートリッジを搭載した冷却受信機を搭載予定である。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V106b 南極 10 m テラヘルツ望遠鏡搭載用超伝導電波カメラの機械熱設計

村山洋佑, 新田冬夢, 中井直正, 久野成夫, 永井誠 (筑波大学), 関本裕太郎, 都築俊宏 (国立天文台), 関口繁之, Shibo Shu (東京大学), 今田大皓 (ISAS/JAXA), 瀬田益道 (関西学院大学), 成瀬雅人 (埼玉大学)

我々は、南極ドーム C 基地 (標高 3260 m、最低気温 約 -80°C) に建設を計画している南極 10 m テラヘルツ望遠鏡に搭載するための 10000 画素規模のテラヘルツ波帯広視野カメラの開発を進めている。この 10 m 鏡はリッチー・クレチアン式を検討しており、周波数 1.5 THz で視野 1 度を目標としている (今田他, 2015 年春季年会)。カメラの超伝導検出器には力学インダクタンス検出器 (MKID) を用いており、観測周波数 0.4 THz 帯と 0.85 THz 帯は平面アンテナとシリコンレンズアレイ、1.3 THz 帯は平面アンテナとホーンアレイで結合させる。また野辺山 45 m 鏡に搭載予定の MKID カメラでは大口径レンズ 2 枚を用いた冷却光学系を開発した (山田他, 2016 年春季年会)。この技術を元に 10 m 鏡に搭載する電波カメラの機械熱設計を行った。

本電波カメラは直径 $1.4\text{ m} \times 0.65\text{ m}$ の円筒形をしており、視野 1 度を 7 つに分割し各モジュールは直径 340 mm の真空窓とシリコンレンズ 2 枚を用いた冷却光学系で構成される。熱流入対策として本光学系には迷光を防ぐためのバッフルや、赤外遮断の metal-mesh フィルターを用いる。また焦点面で 0.1 K を実現し MKID を高感度で動作させるため、冷却系には GM 冷凍機と希釈冷凍機を用いる。温度ステージは 65 K, 4 K, 1 K, 0.1 K の 4 段で構成され、各冷凍機を 1 台ずつ用いるとステージの冷却能力は 50 W, 1.2 W, 1 mW, $20\ \mu\text{W}$ となる。この条件下で、真空窓や放射シールドからの熱輻射、ステージ間の熱伝導などについて熱計算を行った。本講演ではクライオスタットの機械設計や光学系に用いる赤外遮断フィルターの特性、設計解の詳細について報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V107b 相反とは限らないアンテナの送受信特性の定式化

永井 誠 (筑波大学), 今田 大皓 (ISAS/JAXA)

電波望遠鏡は受信アンテナの一種である。理想化されたアンテナにおいては相反定理が成り立ち、相反なアンテナは送信と受信の特性が一致するという著しい特徴を持つ。電波望遠鏡の特性を議論する場合においても、相反なアンテナとしての送受信特性が用いられてきた。一方で、現実のアンテナは確かにほぼ相反であることがほとんどだが、受動的で線形なものであっても必ずしも厳密な相反性を持つとは限らない。

我々は一般のアンテナの特性の定式化を行い、受動的・線形・相反の条件があればよく知られたアンテナの基本関係式が成り立つことを示した(2015年秋季年会 V143b)。今回この理論の拡張を試みたところ、相反性の仮定を外しても同様の関係式が得られることを新たに見出した。この関係式から、送信アンテナの放射効率に対応する、受信アンテナの効率を表す量が定義される。これらの量を用いて、相反とは限らないアンテナの送信特性と受信特性が記述されることを示す。こうして導出される送信特性・受信特性に基づいて、従来用いられてきたアンテナの諸特性の関係を整理することができる。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V108c 南極30mテラヘルツ望遠鏡計画

久野成夫, 中井直正, 新田冬夢, 永井 誠 (筑波大学), 瀬田益道 (関西学院大学), 関本裕太郎 (国立天文台), 徂徠和夫 (北海道大学), ほか南極天文コンソーシアムメンバー

南極の内陸部は、天文観測にとって地球上で最も優れた条件を持つことから、主に赤外線から電波観測のための拠点として、世界中から注目を集めている。日本においても、筑波大学を中心とする南極天文コンソーシアムが、南極の内陸部ドームCにあるフランス・イタリアのコンコルディア基地に口径10mのテラヘルツ望遠鏡を建設し、テラヘルツ観測を推進する計画を進めている。南極における天文学は、10mテラヘルツ望遠鏡にとどまらず、さらに大きな可能性を持っている。南極天文コンソーシアムでは、10m望遠鏡を発展させた30m級の大口径テラヘルツ望遠鏡計画というTMT以後の次期大型計画についても検討を開始している。現在、30mテラヘルツ望遠鏡によるサイエンスの検討をより具体的に進めるワーキング・グループを立ち上げ、8つのグループ(惑星大気、星間化学、星・惑星形成、銀河面サーベイ、近傍銀河、AGN、銀河形成・進化、時間変動天体)によって検討が進められている。本講演では、南極30mテラヘルツ望遠鏡計画の概要について紹介する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V109b 1.9 THz 帯ホーン/導波路型 NbTiN-HEB ミクサ検出素子の開発

齊藤滉介、西田侑治、前澤裕之(大阪府立大)、相馬達也、海老澤勇治、大口脩、山本智(東京大学)

テラヘルツ帯は未開拓な波長領域となっているが、炭素イオン (1.9 THz) や酸素原子 (2.0 THz) など原子/分子/イオン/それらの高励起線など、星間ガスの進化形成過程を探る上で重要な物質のスペクトル線が数多く存在している。また、国際宇宙ステーションにおける JEM/SMILES の後継となる SMILES-2 のワーキンググループも立ち上がり、地球や惑星の中層大気の酸化反応の中樞を担う OH ラジカル (1.8 THz) や酸素原子のスペクトル線のリモートセンシングの期待も高まりつつある(西田他 本年会)。

これらの科学的背景を受け、我々は 1.9 THz 帯ホーン/導波路型ホットエレクトロンボロメータ (HEB) ミクサ検出素子の開発を進めており、これまでに、HFSS を用いた HEB ミクサ素子、ダイアゴナルホーン、ミクサマウントの設計・加工誤差の評価、GRASP を用いた冷却光学系の設計、光露光による RF/IF フィルターと電子線描画による細線・電極部のマスクパターンの作成を行ってきた(2016 年春季年会)。これを踏まえ、今季、素子のプロセスを走らせ、ヒステリシスを伴う良好な非線形の超伝導電流-電圧特性を示す素子を狙い通り製作できることを確認した。水晶基板に集積したこの HEB ミクサ素子は、厚みを 18 μm まで研磨し、36 μm の幅に切り出した。歩留りは、ダイシング時の破損やチップの加工のずれなどが発生したため、約 5 割となったが、これはダイシング手法の改善により向上が見込まれる。素子は感度性能・IF 帯域・動作安定性・ビームパターンの評価を進めていく。また、Tholin の形成に関わる反応素過程を明らかにすべく、プラズマガスの THz 帯ヘテロダイナミック分光診断を進めていく計画である。本講演では、これら一連の開発の進捗について報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V110b 高萩 / 日立 32 m 電波望遠鏡の整備状況 (14)

米倉 覚則, 齋藤 悠, 青木 健悟, 山口 貴大, 足立 弘, 大橋 拓人, 佐藤 宏樹, 柴田 裕輝, 宮本 祐輔, 杉山 孝一郎, 澤田-佐藤 聡子, 百瀬 宗武, 吉田 龍生 (茨城大), 小川 英夫 (大阪府大), 藤沢 健太 (山口大), 高羽 浩 (岐阜大), 俣徠 和夫 (北大), 中井 直正 (筑波大), 面高 俊宏 (鹿児島大), 本間 希樹, 小林 秀行 (国立天文台), 他大学間連携 VLBI group

KDDI から譲渡された直径 32 メートルの衛星通信用アンテナ 2 台 (日立アンテナ、高萩アンテナ) を、VLBI、単一鏡、2 素子干渉計の形態で、6.7 GHz (メタノールレーザー)、8.4 GHz (連続波)、22 GHz (水レーザー、連続波等) の観測が可能な電波望遠鏡にすべく 2009 年より改造作業を行い、2013 年より科学運用を開始した。

2 素子干渉計については、日本通信機製サンプラー K5/VSSP32 (最大 64 MHz サンプリング) を用いた試験を 2013 年から、エレクトクス工業製リアルタイム相関器 OCTAD-C (最大 8 GHz サンプリング [8 Gsps]) を用いた試験を 2014 年から行って来た。この度初期の不具合がほぼ解消し、1 GHz サンプリングモード (1 Gsps) では、試験観測を実施できるようになった。これまでに発生した不具合と、その対策を以下に列挙する。

- (1) 全チャンネルの相関位相が時間とともにズレていく：8 Gsps を 1 Gsps に間引く際のソフトウェアのバグ。
- (2) 相関位相 (帯域内の積分値) が 3 秒程度の周期で矩形的に変化：ソフトウェアのバグ (定数値の入力ミス)。
- (3) 相関振幅の形が不規則に変化する：強烈なスプリアスの混入。切れ味の鋭い BPF の導入。
- (4) 相関振幅および相関位相が、正弦的に変化：帯域外の信号が折り返されて入力されていたため、この信号に対しては遅延追尾が逆センスに行われていた。切れ味の鋭い BPF の導入 (入力信号周波数範囲 512–1024 MHz に対して、BPF の帯域は 550–950 MHz)

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V111b 水沢 10m 電波望遠鏡の Nano-JASMINE 衛星ダウンリンク局としての性能向上

亀谷 收, 浅利一善, 郷田直輝, 矢野太平 (国立天文台), 山田良透 (京都大), 稲守孝哉 (名古屋大), 尾崎直哉, 大塚俊一 (東京大), JASMINE グループ

国立天文台水沢 VLBI 観測所 10m 電波望遠鏡は、建設後約 25 年に渡って測地 VLBI 観測・J-Net 等の 22GHz 帯 VLBI 観測、相対 VLBI 観測の性能確認、RISE 計画の試験観測と VERA のバックアップ、22GHz 帯水メーザーモニター観測、そして高校生対象の SSH 研究等に使われてきた。一方、2017 年末打ち上げ予定の Nano-JASMINE 衛星のダウンリンク局としてこの電波望遠鏡を使用する事になり、現在、それに向けたシステムの性能評価と改良を行っている。その状況について報告する。

これまでのシステム改良によって、衛星からの時刻 Az-El 情報が書かれたファイルを与えると、他の VLBI や単一鏡モードの観測の合間の任意の時刻に観測が自動でできるようになっている。しかし、衛星追尾モードの時にアンテナが振動する現象が観測され、問題になっていた。その原因を調査したところ、計算機の能力を超える計算負荷がかかっていたために、転送データに抜けが生じる事があるため、この現象が発生することが判明した。その対処のため、計算機能力を向上させ、なおかつ、位置情報のアルゴリズムに変更を加える事で、振動が起こらなくなった。本講演では、その詳細と、関連するシステムの向上について報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V112b JAXA GREAT54m アンテナ用 32GHz 帯低雑音受信機の開発

坪井昌人, 水上陽誠, GREAT プロジェクトチーム (JAXA 宇宙研), 春日隆 (法政大学)

我々は長野県八ヶ岳山中 JAXA 臼田宇宙空間観測所の近くに、深宇宙探査機との通信を目的とする口径 54m の高精度パラボラアンテナを建設中である (今季年会 村田泰宏他ポスター講演). 今回はこのアンテナ用に開発する 32GHz 帯低雑音受信機システムについて進捗を報告する.

32GHz 帯は次世代の深宇宙通信のために開発が進む周波数帯であるが、この周波数帯には SO(30002MHz など), HC₅N(31952MHz, 34614MHz など), CH₃OH(30308MHz, 31227MHz など) 等の多くの分子輝線が存在するので電波天文学的にも興味深い. 開発中の受信機の概要は以下のとおりである.

構造: GM 冷凍機によって 10K 以下に冷却されたクライオスタット内のステージにフィードホーン, セプタム型円偏波器, 32GHz 帯 InP HEMT-MMIC LNA を設置する. 受信信号はビーム伝送系から断熱真空窓を通してホーンに入力される. ここで約 30dB 増幅された後に, レベル調整のための常温 LNA を経て深宇宙通信用バックエンドに送られる. また冷却 LNA 前に置いた -30dB 方向性結合器により校正用信号を入力することもできる.

性能: 左右両円偏波受信であり, 受信機雑音温度の要求性能は 40K 以下である. 現在の設計ではこのスペックを十分にクリアできると予測されている. また受信周波数帯域の要求性能は 31.8 ~ 32.3 GHz であり, 深宇宙通信用バックエンドにはバンドパスフィルターを介して, この周波数の出力が供給される. しかし冷却 LNA 自体は 30 ~ 40 GHz 程度の受信周波数帯域を持つので, 電波天文学を含む他の用途にはこの受信周波数帯が利用可能である.

現在は設計を行っているが, JAXA 内部の設計審査会の通過後, 製作を開始する予定である.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V113b 太陽観測に向けたミリ波単一鏡の性能測定方法の確立

岩井一正, (情報通信研究機構), 下条圭美, 浅山信一郎, 南谷哲宏, 齋藤正雄 (国立天文台)

ミリ波・サブミリ波における太陽からの電波放射は、主に彩層と呼ばれる太陽の上層大気からの熱制動放射であり、その観測は彩層大気の物理状態を診断するために有効である。一方、太陽は一般的な電波天文学の観測天体とは典型的な電波強度が全く異なり、また日射の影響で鏡面構造・形状が変形する等、厳しい条件下での観測が必須であるため、詳細な電波計測は非常に難しい。本研究では野辺山 45m 望遠鏡を用いて 115GHz 帯域における太陽観測の較正実験・性能測定を行った。

本研究では、太陽からの強い電波放射による受信機の飽和を避けるため、SIS 受信機に通常とは異なるバイアス電圧やローカル信号入力レベルを設定するデチューニングという手法を用いた。観測系の線形性は太陽自身を異なる複数のチューニング状態で観測したデータを比較することで確認した。観測された太陽のアンテナ温度は、太陽と視直径が近く、位置的にも近くにある新月を使って較正し輝度温度に変換した。またその過程では、45 m 望遠鏡の前方散乱能率が測定された。太陽は電波強度が強だけでなく、視直径が約 0.5 度と広がった電波源であるため、通常のビームパターン測定で計測されるサイドローブより、更に広がったサイドローブまでが観測データに影響を与える。そこで、太陽のリムの形状を用いて望遠鏡のビームパターンをモデル化した。その結果、45m 望遠鏡の 115GHz においては、10 分角程度のサイドローブまでが太陽観測データに影響を与えていることが示唆された。最終的には較正されたマップからモデル化したビームパターンをデコンボリューションすることで、真のマップを得ることに成功した。本研究で得られた一連の較正方法は、ALMA を始めとする今後のミリ波・サブミリ波の太陽単一鏡観測にも活用できると期待される。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V114c JAXA における深宇宙探査用大型アンテナの開発とその天文利用

村田泰宏、沼田健二、内村孝志、水上陽誠、野中房一、湯地恒次、大西徹、古山義、坪井昌人、
富木淳史、戸田知朗（深宇宙探査用地上局（GREAT）プロジェクト、宇宙航空研究開発機構）

現在、JAXA の深宇宙探査機の支援をしている地上局が臼田宇宙空間観測所 64m アンテナである。建設されてから 30 年以上が過ぎ、現在深宇宙探査の支援をしていく上で大きな不安要素となっている。そこで JAXA は、アンテナの老朽化対策、および、はやぶさ 2 で新しく搭載された Ka 帯 (32GHz) に対応するため新しく大型の地上アンテナの建設をすることとなった。

2014 年からミッション定義、システム要求審査を行い、メーカー選定を行ったうえで、システム定義審査を経て、2015 年 11 月より、深宇宙探査用地上局 (GREAT:GRound station for deep space Exploration And Telecommunication) プロジェクトが発足した。システム要求は、臼田 64m を想定して設計された探査機、はやぶさ 2、MMO (水星ミッション) の要求から決められており、最小の口径で同等の性能を出す要求から、厳しい設計要求となっている。

建設の候補地は現在の臼田 64m アンテナから約 1.5km 北西の方向で、昨年 12 月に木の伐採が始まり今年 5 月には地質調査を行っている。一方、今年 6 月の段階では基本設計が進んでおり、アンテナの大きなデザインも決まりつつある。口径は 54m を想定しており、2019 年度の整備完了を目指している。

受信周波数帯は 8GHz 帯と 32GHz 帯で、送信帯は 7.2 GHz 帯である。電波望遠鏡としての利用も想定されており、上記以外の受信帯域も追加可能な設計となっている。測地観測および軌道決定に VLBI 観測が必要であるため、VLBI 記録装置も整備される方向である。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V115a ALMA の運用 (9) と拡張計画 (3)

○井口聖，阪本成一，立松健一，伊王野大介，浅山信一郎，小杉城治，菊池健一，平松正顕，奥村裕二 (国立天文台)，ほか ALMA プロジェクトチーム

本講演では、ALMA (Atacama Large Millimeter/submillimeter Array, アルマ) の運用および拡張計画の活動について以下の報告をする。

運用：現在，Cycle 3 の観測を実施中である。Cycle 0, Cycle 1 および Cycle 2 の観測成果が続々とできており，アーカイブデータを使った研究成果も多数でてきた。着実に運用体制を構築し，予定通り，Cycle 4 の観測提案の公募が実施された。また，単一鏡観測，Band 10 干渉計観測，偏波観測等，いくつか解決しなければならない課題が残っており，追加機能試験も含め，合同アルマ観測所 (チリ) が中心となってシステム評価試験および科学評価試験を継続実施中である。

拡張：ALMA の科学機能の向上を目指し，欠けていた観測帯域を埋めるため，Band 5，Band 1 および Band 2 の新受信機の開発を行っており，Band 5 に続き Band 1 も正式に量産製造および搭載計画が評議会にて承認された。さらに，日米欧で協力してまとめた報告書「2020-2030 における ALMA 科学観測を想定した将来拡張計画」に従い，幾つかの基礎技術開発を開始し，日米欧で協調しながら将来拡張計画の立案に向けて検討を行っている。

さらに，アルマが掲げる 3 大科学目標の 1 つ「太陽系以外の惑星系とその形成の解明」において，大きな進展があったことから，本講演では「地球に似た軌道を持つ惑星の誕生現場を若い星のまわりで初めて観測」についても紹介する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V116a ALMA-Cycle4 における太陽観測

下条圭美 (国立天文台), Tim Bastian(NRAO), Stephen White (AFRL), 岩井一正 (NICT), Roman Brajša(Hvar Observatory), ほか国際 ALMA 太陽観測開発チーム

太陽は、ALMA において科学ターゲットの一つである。しかし、ミリ波/サブミリ波においても太陽の電波強度が他天体と比べて桁違いに強く、視野より大きな電波源である太陽の像合成を行うため、観測には特別な処置が必要である。我々は 2010 年度から ALMA による太陽観測手法の開発を行い、昨年 Band3 と Band6 による太陽観測手法を確立させ、Cycle4 から太陽の共同観測を開始させることができた。

Cycle4 の太陽観測では大きく分けて以下の五つの特別な処置を行う。

- ・ SIS ミキサーのバイアス電圧変更による感度低減
- ・ 較正源観測時における受信機システム内可変減衰器の減衰レベル変更
- ・ 太陽観測時におけるアンテナ温度の測定
- ・ 12m アンテナと 7m アンテナ両方を結合した混合アレイによる観測
- ・ 単一鏡による太陽全面スキャンを干渉計観測と同時に実施

これらに加え、観測周波数とアンテナ配置に利用制限が設けられる。

上記の処置を加えた Cycle4 用太陽観測モードを検証するため、昨年 12 月に太陽観測キャンペーンを行った。Long Baseline 観測が実施された直後だったためアンテナをアレイ中心に集められず、9 台の 7m アンテナを含む総計 30 台のアンテナしかキャンペーンにて利用できなかったが、素晴らしい太陽ミリ波画像を得ることができた。これらの検証用データの一部は、SV データとして ALMA 観測所からリリースされる予定である。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V117a **ALMA パイプラインの現状 5Cycle3 の運用状況と Cycle4 からの運用へ向けて**

三浦理絵, 杉本香菜子, 中里剛, 小杉城治, 諸隈佳菜, 秋山永治, Erik Muller(国立天文台), ALMA Pipeline Team

ALMA のデータ解析には、データ解析ソフト CASA の他に、自動的に最適のパラメータを選んでデータ処理を行う ALMA パイプラインが使われる。ALMA パイプラインには、干渉計パイプラインと単一鏡パイプラインがあり、干渉計パイプラインは Cycle2 観測から (ただしキャリブレーションまで)、一方、単一鏡パイプラインは Cycle3 観測から運用を開始している。2016 年 6 月までに 800 個以上の Cycle3 プロジェクトがパイプラインで処理され、干渉計データ・単一鏡データともに約 8 割がデータ処理に成功している。2016 年 10 月から開始される Cycle4 観測からは、これまでマニュアルで行われていたサイエンス天体のイメージングも干渉計パイプラインで行われる予定である (イメージング・パイプライン)。イメージング・パイプラインは汎用性があり、キャリブレーション済みのデータからパイプラインを使ってイメージングすることも可能であるため、既にデータを受け取ったユーザーにも有用なツールである。一方、単一鏡パイプラインは、Cycle3 から Cycle4 にかけて大幅な変更が 2 点あり、1 点目は、複数天体の処理 (これまで 1 観測あたり 1 天体のみのデータ)、2 点目は、データ処理の際に扱うデータフォーマットが変更になる点である (これまで主に Scantable を扱っていたのが、Cycle4 からは全てのデータ処理は MeasurementSet フォーマットで行う)。2016 年 7 月に、Cycle4 開始に向けて、ALMA パイプラインチーム全体で、Cycle4 用干渉計/単一鏡パイプラインの試験を行う予定である。本講演では、Cycle3 用パイプライン運用状況、Cycle4 用パイプラインの試験状況や結果、今後の課題について報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V118a ALMA サイクル4に向けた単一鏡データ解析パイプラインの開発

杉本香菜子, 中里剛, 小杉城治, 三浦理絵, 諸隈佳菜, Erik Muller, 秋山永治 (国立天文台), ALMA PIPELINE チーム

ALMA データ解析パイプライン (PIPELINE) は、ALMA 望遠鏡で観測したデータを自動的に処理するソフトウェアである。観測設定やデータに応じて適切な処理手順と処理パラメータを自動的に決定し、観測データをキャリブレーション、イメージングする機能を有する。この PIPELINE の開発は、国立天文台、米国国立電波天文台 (NRAO)、および、ヨーロッパ南天天文台 (ESO) を中心とした国際協力により進められている。中でも我々国立天文台の開発チームは、主に ALMA の単一鏡観測データの処理・解析機能 (SD PIPELINE) の開発、及び、試験を担当している。2016 年 4 月より ALMA 望遠鏡で観測された単一鏡データのキャリブレーションとイメージングに SD PIPELINE が利用され始めた。2016 年 6 月 10 日現在、SD PIPELINE によって処理された 12 プロジェクトが PI に送付済みであり、未送付のものも含めて品質評価済みのプロジェクトの約 8 割で処理が成功している (三浦ほか 2016 年秋季年会)。

現在、SD PIPELINE 開発チームは 2016 年 10 月より始まる ALMA サイクル4に向けて、データモデルの変更に伴う再実装を行っている。サイクル4からは、単一鏡観測データも干渉計と同じ Measurementset によるデータ処理が可能になる。さらに、新しい観測モード (1 観測で複数のターゲット天体を観測) のサポートと、処理効率の向上にも取り組んでいる。本公演では、ALMA サイクル4に向けた SD PIPELINE の開発成果と今後の計画について述べる。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V119a データ解析ライブラリ Sakura の開発 (2)

川崎渉, 中里剛, 杉本香菜子, 國吉雅也, Renaud Miel, 中村光志, 小杉城治, 前川淳 (国立天文台)

我々は ALMA 望遠鏡のデータ解析ソフトウェア CASA の開発に参加しているが、それと並行して、単一鏡による電波データの高速な解析処理を目指して、2013 年からデータ解析ライブラリ Sakura の開発を進めている (中里他 2015 年春季年会 V126a)。開発の直接の動機は、CASA において単一鏡データの解析機能の処理速度の改善が急務だったことである。現在は電波単一鏡データの解析を一通り行うための最低限必要な機能が揃った段階で、順次、CASA の既存の単一鏡データ解析機能を Sakura を使ったものに置き換える作業を進行中である。それに伴い、CASA4.4 以降、我々は内部に Sakura を組み込んだ形で CASA をリリースしている。

Sakura の特長としては、動作速度を最優先し HPC(High Performance Computing) に注力していることが挙げられる。特にベクトル化については SIMD 命令を駆使し、CPU アーキテクチャに応じてその性能を最大限活用できるようなコーディングをしている。また、露わに SIMD 命令を使わない場合でも、コンパイラが自動ベクトル化しやすい、或いは速度が出やすいアルゴリズムや内部データ構造を採用している。さらにスレッドセーフな実装を心掛けており、ユーザー側でマルチスレッド処理すればさらに高速化することが可能である。動作保証の点では、各機能についてユニットテストを整備し、全ての機能・パラメータについて網羅的な動作チェックを行っている。ちなみに Sakura 自体は C++11 で実装しているが、C プログラムから利用が可能である。

現在は我々自身が CASA 単一鏡解析機能のために使っているのみであるが、外部ユーザーにも Sakura を活用して頂き既存のソフトの高速化を実現する一助になればと、我々は Sakura 単体でのリリースを今年 9 月に予定し、作業を進めている。本発表では、Sakura の紹介、及び最近の開発状況の報告を行う。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V120a ALMA Band 2+3, 7+8 超広帯域受信機コンポーネントの開発

長谷川 豊, 高橋 諒, 上月 雄人, 大西 利和, 小川 英夫 (大阪府立大学), 浅山 信一郎 (国立天文台), 落合 啓, 笠松 章史 (NICT)

近年、既存の ALMA 受信機を越える性能を持つ次世代受信機の開発が世界的に進められているが、我々はこのうち ALMA Band 2 (67-90 GHz), Band 3 (84-116 GHz) を統合した 67-116 GHz, 比帯域 54 % という超広帯域受信機について開発検討を進めている。特に直交偏波分離器 (OMT), Blanch-Line Coupler (BLC) といった SIS-Mixer 前段の導波管コンポーネントについては、製作誤差や冷却収縮の影響も考慮すると設定周波数よりも広い帯域をカバーしている事が望ましく、我々はまずこれらの広帯域導波管回路の開発を行っている。

これまでの成果としては、66.6-116.8 GHz 間で入力反射損失 -20 dB を下回る OMT のシミュレーション設計に成功、これを試作し VNA を用いた周波数特性測定を行った結果、66.5-116.5 GHz 間で伝送効率 -0.3 dB (93%) 以上、反射損失 -17 dB (2%) 以下を達成した。一方で交差偏波分離度については -40 dB 程度の弱い共振が多く見られ、この原因を再現モデルを用いて追解析した結果、フランジ接続部の僅かなバリや導波管端面の喰い込みが主因である事が分かった。そこで現在はこれらの問題を回避できるような新たなフランジ形状の開発や切削加工手法の再検討を進めており、目処が立ち次第再製作/測定に進めたいと考えている。

また、Band 7+8 (275-500 GHz) への拡張の第一歩として 上記モデルをスケールダウン後調整を加えた 300-500 GHz OMT, 及び 40 μm 幅 10 ブランチの BLC の二点について 12 \times 12 \times 12 mm のサイズでのコンポーネント設計・試作を行い、現在はこれらの特性実測のための準備を進めている。さらに 2SB-Unit, Full-Band OMT の設計も随時進めており、本講演ではこれらの進捗状況について報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V121a 275-500 GHz 帯導波管型 SIS ミクサの設計

小嶋崇文, Matthias Kroug, Alvaro Gonzalez, 上水和典, 江崎翔平, 唐津実希, 新関康昭, 藤井泰範, 金子慶子, Wenlei Shan, 野口卓, 浅山信一郎 (国立天文台), 上月雄人 (大阪府立大学)

ALMA 望遠鏡の将来計画に資する技術開発として、RF: 275-500 GHz(比帯域約 60 %) をカバーする超広帯域導波管型 SIS ミクサの開発を進めており、ALMA と同等の受信機性能の実証を目指している。また、韓国 KASI が国立天文台と共同で ASTE 望遠鏡への搭載を目指している広帯域マルチビーム受信機の開発においても、当 SIS ミクサの実現が期待されている。

超広帯域 RF 受信機の実現にはいずれの RF 要素部品の開発も非常にチャレンジングである。特に、SIS ミクサには 20 kA/cm^2 以上という非常に高い臨界電流密度 J_C の SIS 接合が必要となると見積もっており、酸化アルミ絶縁膜を用いた従来技術では実現が困難である。一方、我々は窒化アルミ絶縁膜を用いて、 $J_C : 10\text{-}45 \text{ kA/cm}^2$ の範囲においてリーク電流の非常に小さい接合の開発に成功した。さらに、ALMA Band 8 周波数帯 (385-500 GHz) において、LO 周波数に対してほぼ一定の低雑音特性となることを実証している (上水ほか、本年会)。

SIS ミクサチップには従来採用してきたボウタイアンテナと呼ばれる導波管プローブではなく、片側プローブを採用することによって 275-500 GHz でほぼ一定のインピーダンス特性を有するように設計した。当ミクサを上述の接合作製技術を用いて作製し、Band 8 周波数帯で評価した結果、量産型 SIS ミクサと同等の雑音性能を有することを確認している。当面の課題は 275-500 GHz をカバーするミクサ評価系の構築であり、現在設計と整備を進めている。

講演では、当 SIS ミクサ設計の詳細と評価結果・評価系の整備状況等について報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V122b マルチバンド型受信機用 450 GHz 帯導波管型周波数分波器の開発

小嶋崇文, Alvaro Gonzalez, 浅山信一郎 (国立天文台), 鷗澤佳徳 (情報通信研究機構)

ALMA 望遠鏡の将来計画に資する技術開発として、同時受信帯域の広帯域化について検討している。現在、ALMA 受信機の同時受信帯域幅 (IF 帯域幅に相当) は、1 つの受信機がカバーする RF 帯域幅より狭く、例えば Band 5 以上の観測周波数帯では 1 偏波で同時受信できる帯域幅は RF 帯域幅に対して 20 % 以下である。そこで広帯域化のアプローチの 1 つとして、マルチバンド型受信機の可能性を検討している (小嶋ほか、2015 年秋季年会)。

現在我々はマルチバンド型受信機の原理実証を目指しており、今回そのキーコンポーネントである周波数分波器を開発した。当周波数分波器は 405–480 GHz を 25 GHz の等周波数間隔で 3 つ周波数帯に分割するという機能をもつ。周波数分波器には 90 度ハイブリッドカップラとバンドパスフィルタをそれぞれ 2 つずつ用いたハイブリッド結合型導波管回路を採用した。チャンネル間の周波数ギャップの狭幅化と、各出力チャンネルにいかなる負荷が接続されたとしても他チャンネルに影響を与えないことが狙いである。回路設計ではシグナルフローグラフを用いたネットワーク解析を適用し、90 度ハイブリッドカップラのリターンロスと振幅アンバランス、そして、90 度ハイブリッドカップラとバンドパスフィルタの接続距離が設計上重要であることを理論的に見出した。

当周波数分波器を製作し、情報通信研究機構先端 ICT デバイスラボ協力のもと、325–500 GHz 帯ネットワークアナライザを用いて評価した。その結果、リターンロスは全帯域で -15 dB 以下、シミュレーションとわずか 2 GHz 以内で各チャンネルの通過特性が一致した。このことから、当分波器の設計が妥当であるとともに数 μm 以下という高い精度で加工されていることを確認した。

本講演では、開発の詳細と今後の課題などについて議論したい。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V123b 高臨界電流密度 SIS 接合を用いた Band8 ミクサの性能向上

上水と典, 新関康昭, Matthias Kroug, 佐藤直久, 藤井泰範, 江崎翔平, 小嶋崇文, 浅山信一郎, 野口卓 (国立天文台)

ALMA (Atacama Large Millimeter/submillimeter Array) カートリッジ受信機の量産出荷は 2014 年に完了した (高橋他、佐藤他、藤井他、2014 年春季年会)。各受信機はそれぞれ仕様を満たしているが、Band 8 受信機では帯域端の雑音特性は帯域中央に比べて劣っている。これはミクサ自身の動作比帯域が狭いために、雑音特性温度が帯域端で上昇することが要因の一つである。

今回我々はミクサの性能の高度化を目指し、Nb/AlN/Nb 接合を用いた高臨界電流密度接合 ($J_c: 10\text{-}45 \text{ kA/cm}^2$) を開発した (小嶋他、本年会)。帯域の広さはこの臨界電流密度 J_c におおよそ比例するので、より高いほど帯域を広げられると考えられている。当接合を用いた DSB ミクサ ($J_c \sim 24 \text{ kA/cm}^2$) を評価して、典型的な Band 8 量産型ミクサ ($J_c \sim 13 \text{ kA/cm}^2$) に比べて非常にフラットな特性が得られたので、ここに報告する。

さらに今回の High J_c タイプの素子を用いた 2SB ミクサを構成し、これを Band 8 カートリッジの QM (Qualification Model) である、ASTE Band 8 受信機に搭載して 2SB ミクサ性能を評価した。その結果、現状の Band 8 量産型ミクサに対して特に高周波側の雑音性能の向上が確認できた。この結果により開発した高臨界電流密度接合の低雑音広帯域性能を実証するとともに、ALMA や ASTE 受信機等の将来的な広帯域化に向けた見通しが得られたといえる。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V124b **Current Status of ALMA Quality Assurance (AQUA) System 1**

Eiji Akiyama (NAOJ), Stephane Leon(JAO, ALMA), Suzanna Randall, Maurizio Chavan, Robert Kurowski (ESO), Eric Villard, Baltasar Vila Vilaro (JAO, ALMA), and AQUA team

ALMA quality assurance (AQUA) system is designed for managing ALMA observation data and visualize the quality of both observations and final products of imaging. AQUA provides four distinct phases, named QA0 to QA3, in the quality assurance (QA) process. QA0 ensures that the observation has been performed with acceptable weather condition and instrument performance. The overall system performance and long-term monitoring of calibrators are regularly checked in QA1. AQUA scores calibrations and the final science-ready data will be assessed in terms of the requested sensitivity and spatial resolution in QA2. Any defects found in the delivered data package by the Principal Investigators (PIs) are reported in QA3 and ask for investigation and re-observation if necessary. AQUA system has been partially introduced in cycle 3 and the results of QA0 is provided for PIs in the AQUA. and AQUA QA2 will be open in cycle 4 in conjunction with the pipeline WebLog. The life cycle of the ALMA observation and QA are well defined between Scheduling Blocks (SB) generation and the data delivery including user feedback. AQUA manages and controls the status of all ALMA data and provides any information regarding data quality found in the observation and data reduction or special treatment made for improving data quality or avoiding known issues/problems. The currently operating application and material such as project tracker, pipeline WebLog, and online softwares used in the observation will be integrated into AQUA as one system in the future.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V125a ASTE 搭載用多色連続波カメラの開発：(6) 科学評価活動

田村陽一 (東京大学), 大島泰, 竹腰達哉, 大田原一成, 川邊良平, 泉奈都子, 斎藤智樹, 浅山信一郎, 奥田武志, 鎌崎剛, 芦田川京子, 松居隆之, 前川淳, 荒井均, 廣田晶彦, 松尾宏, 南谷哲宏, 宮本祐介, 金子紘之, 諸隈佳菜 (国立天文台), 石井峻, 河野孝太郎, 泉拓磨, 谷口暁星, 梅畑豪紀, Minju Lee, 山口裕貴, 安藤亮, 山口正行, 石田剛 (東京大学), 村岡和幸, 鈴木駿汰 (大阪府立大学), 瀧崎智佳 (上越教育大学), 小麥真也 (工学院大学), ほか TES ポロメータカメラ科学評価チーム

我々は、サブミリ波 (波長 $850\ \mu\text{m}$ および $1.1\ \text{mm}$) 連続波の多色サーベイ観測を実現すべく、サブミリ波望遠鏡 ASTE 搭載用の超伝導遷移端センサー (TES) ポロメータカメラの開発を推進している。2016 年 4 月までに本ポロメータカメラの ASTE 望遠鏡への搭載を完了し、同月より本装置の総合的な科学評価活動を開始した。科学評価活動では、本格的な科学観測の実現、および将来の共同利用観測の基盤整備のために、以下に挙げる項目の評価を行っている：(1) 望遠鏡フォーカスモデルの構築、(2) 望遠鏡ポインティングモデルの構築、(3) ポロメータアレイのパラメータ (各ピクセルの相対位置、ビームサイズ、利得等) の決定、(4) 光学系およびビーム形状の評価、(5) スキャンパターンの最適化、(6) 強度校正手法の確立、(7) 感度と雑音の特性の評価、(8) ソフトウェアやデータベース等の運用インフラの整備、(9) 天体撮像による総合的な性能の検証。本講演では、惑星や強度校正装置を用いた上記の性能評価の方法およびその結果を概観し、計算機・ソフトウェア整備状況を報告する。また、本科学評価活動に際し、ポロメータカメラ強度校正のために整備を行った視線方向水蒸気ラジオメータを併せて紹介する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V126b **ASTE 搭載用多色連続波カメラの開発：(8) フラックス強度校正**

石井峻, 山口正行, 泉拓磨, 田村陽一, 河野孝太郎 (東京大学), 大島泰, 竹腰達哉, 大田原一成, 荒井均, 前川淳, 岩下浩幸, 佐藤立博, 廣田晶彦, 南谷哲宏, 松尾宏, 川邊良平 (国立天文台), 鈴木駿汰, 村岡和幸 (大阪府大学), 中坪俊一, 森章一, 香内晃, 徂徠 和夫 (北海道大学)

我々は、サブミリ波帯連続波での多色サーベイ観測を実現すべく、サブミリ波望遠鏡 ASTE 搭載用に超伝導遷移端センサー (TES) ボロメータカメラの開発を推進している。これまでに実施したボロメータカメラの科学評価活動で取得したデータの解析から、科学運用で不可欠となるフラックス強度校正の手法を検討した。本ボロメータカメラのフラックス強度校正においては、カメラへの入射パワーに対するボロメータの応答を適切に関係付けるとともに、大気による減衰量を正確に推定し補正することが鍵となる。各ボロメータの応答を評価するにあたって、まず大気のティッピング観測データにチューニング測定で得た抵抗値等のボロメータ特性も加味し、ボロメータ性能を定量化する指標を算出することで健全なピクセルを抽出する手法を確立した。さらに様々な大気条件の下で行ったティッピング観測の結果から、ASTE サイトの典型的な大気の光学的厚み ($\tau_{220\text{GHz}} = 0.02\text{--}0.15$) でボロメータ応答が線形性を有し、十分なダイナミックレンジが確保できていることを示した。本講演では、2016年4月からの科学評価活動で新たに整備された視線方向水蒸気ラジオメータ (田村他) によって測定した可降水量データとの比較や、キャリブレーション装置 (大田原他) を活用した科学運用時のフラックス強度校正の手法についても議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V127b ASTE搭載用多色連続波カメラの開発:(9) キャリブレーション装置の開発

大田原一成, 竹腰達哉, 大島泰, 上水和典, 伊藤哲也, 藤井泰範, 荒井均, 廣田晶彦, 岩下浩幸, 前川淳, 松尾宏, 川邊良平 (国立天文台), 山口正行, 泉拓磨, 石井峻, 田村陽一, 河野孝太郎 (東京大学), 中坪俊一, 森章一, 香内晃, 徂徠和夫 (北海道大学), 鈴木駿汰, 村岡和幸 (大阪府立大学)

我々は、サブミリ波帯連続波の多色サーベイ観測を実現すべく、サブミリ波望遠鏡 ASTE 搭載用に超伝導遷移端センサー (TES) ボロメータカメラの開発を推進している。本格的な科学観測の実現のために、(1) 天体信号の大気減衰を補正して高精度な強度較正を実現すること、(2) ボロメータへの入力パワーを安定化することで効率的なチューニングを行うこと、(3) 超伝導状態になったボロメータに大きなパワーを入力することで感度喪失状態から復帰させること、が重要な課題であり、これらを実現するため、カメラ受信機の前置光学系として、デュア窓の前に設置可能なフィルターホイール装置を製作した。吸収フィルターとフィルター付き球面鏡を2段構成とし、各々を独立に回転させることで、8種類の吸収体の組み合わせが可能な構造となっている。これによって、大気の光学的厚みの推定のために必要な、ASTE サイトの典型的な観測条件 ($\tau_{220\text{GHz}} = 0.03\text{--}0.2$) を再現する8温度キャリブレーターを実現した。また TES ボロメータは、ダイナミックレンジを確保しつつ超伝導遷移端中に保つよう、バイアスを掛けてチューニングする。従来、変動する大気環境下でボロメータをチューニングしていたのに対し、大気の光学的厚みに近いフィルターを用いてチューニングすることで、再現性の良いチューニングを実現した。さらにボロメータを感度喪失状態から復帰させるのに十分な温度で加熱できる黒体を製作し、フィルター部に実装した。本講演では ASTE 望遠鏡への搭載に必要な、コンパクトかつ軽量化を実現した装置の構成を紹介するとともに、2016年の現地試験観測でのキャリブレーション機能の評価結果について報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V128b **ASTE 望遠鏡多色連続波カメラの開発 (10) : スキャンパターンの最適化と評価**

山口正行 (東京大学, 国立天文台), 大島泰, 竹腰達哉, 廣田晶彦, 大田原一成, 荒井均, 前川淳, 岩下浩幸, 佐藤立博, 南谷哲宏, 松尾宏, 川邊良平 (国立天文台), 鈴木駿汰, 村岡和幸 (大阪府立大学), 中坪俊一, 森章一, 香内晃, 徂徠和夫 (北海道大学), 泉拓磨, 田村陽一, 石井峻, 河野孝太郎 (東京大学)

本講演では、ASTE 望遠鏡搭載用ミリ波サブミリ波帯連続波カメラによるスキャンパターン最適化および評価を報告する。我々は、2016 年 4-7 月に行なわれた CSV 観測より、ASTE 望遠鏡の連続波観測において、新たなスキャンパターンを導入した。これまでの撮像観測では、走査線型 Raster Scan および曲線型 Lissajous Scan が使用されてきた。従来 of Raster Scan では、進行方向の折り返し地点でアンテナ駆動制御に負荷が生じ、システム障害等から指向誤差が大きくなる恐れがあった。それに対して Lissajous Scan は、曲線軌道を掃くため、速度が滑らかで制御機能の負荷軽減を達成できることから、ASTE 望遠鏡の主要となるスキャンパターンとして適用されてきた。しかしながら Lissajous Scan は、広範囲な撮像領域の面積では速度変化が激しく、駆動制御系における最大速度の上限を超えてしまう問題が浮上し、より安定的な新スキャンパターンを要してきた。そこで我々は、ASTE 望遠鏡の更なる連続波観測の効率向上を目指し、花卉型 Daisy Scan および渦巻型 Spiral Scan を導入した。これらの新しいスキャンパターンを導入した撮像シミュレーションを行った結果、双方ともに天球面分布上で一様な感度分布が得られることやスキャンの速度変化が少ないことからアンテナ駆動の過負荷を抑えられるスキャンング法であることがわかった。本講演では、新スキャンパターンを用いた観測測定値の評価を報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V129b **ASTE 搭載用多色連続波カメラの開発：(11) 読み出し回路の改良**

鈴木駿汰, 村岡和幸 (大阪府立大学), 大島泰, 竹腰達哉, 廣田晶彦, 大田原一成, 上水和典, 伊藤哲也, 荒井均, 藤井泰範, 岩下浩幸, 前川淳, 松尾宏, 川邊良平 (国立天文台), 山口正行, 泉拓磨, 田村陽一, 石井峻, 河野孝太郎 (東京大学), 中坪俊一, 森章一, 香内晃, 徂徠和夫 (北海道大学)

我々は宇宙初期において爆発的星形成が起きているとされるサブミリ波銀河観測を目的とした ASTE 搭載用 TES ボロメータカメラの開発を進めている。本カメラは読み出し系として高感度な磁束計である SQUID を用いており、1つの SQUID で複数の TES ボロメータを読み出すことが可能となるマルチプレクス化を利用することで大規模な2次元アレイを実現する。我々は将来的に、より大規模なカメラの開発を目指しており、そのためにはボロメータの素子数を向上させる必要がある。しかし、1 K 以下の極低温では、冷却パワーが小さくなるため、熱流入が多くなる理由で配線を大量に入れることは避けたい。そこで、少ない配線と読出し素子数で効率良く読み出す必要があり、マルチプレクス数の向上が素子数の増大に大きく関わってくる。また、従来に読み出し回路として使用していた LC-Board (inductor、capacitor が一枚のボード上に配置) より歩留まりを向上させたい狙いもある。そこでまずは、特性 ($L, f \propto 1/\sqrt{LC}$) の揃った inductor を小さなチップから wafer に更新した。同時に 100 pin の基板対基板コネクタを使用して TES ボロメータ, inductor, capacitor を結ぶと共に、capacitor をコンパクトに実装するための回路基板の設計と測定を行い、読み出し評価を行った。その結果、L-Board、C-Board それぞれコンパクトでモジュール化した配線系の実現、及びマルチプレクス数の増加につながった。更に inductor では 95 %以上、読み出し回路全体としては 91.4 %と前回に比べ歩留まりの向上にも成功した。本講演では、TES ボロメータカメラの構成ならびに読み出し評価とその結果について報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V130b テラヘルツ光子計型検出器の基礎開発

江澤 元、松尾 宏 (国立天文台)、浮辺雅宏、藤井 剛、志岐成友 (産業技術総合研究所)

将来の超高空間分解能の天文観測を目指した光子計数型テラヘルツ波干渉計の基礎開発について、概要と進捗を報告する。

現在構想している超長基線テラヘルツ波干渉計 (松尾他、天文学会 2015 年春季年会 W211a) は、Hanbury-Brown & Twiss の強度干渉計を基礎にしている。我々は、近年の高速データ記録技術を応用することにより、強度干渉計においても遅延時間測定が可能であることを 2014 年に野辺山電波ヘリオグラフを用いた 17 GHz の基礎実験において実証した (江澤ほか、天文学会 2014 年秋季年会 V141a)。

これをテラヘルツ波領域に応用するため、検出器として高速動作 (~ 1 GHz) が期待できる超伝導 SIS 直接検出器を応用し、テラヘルツ光子を計数することにより高い S/N の実現を目指している。現在、その第一段階としてプロトタイプとなる検出器システムを構築している。産業技術総合研究所の CRAVITY において Nb/Al/AlO_x/Al/Nb ベースの SIS 素子を開発し、 $10\ \mu\text{m} \times 10\ \mu\text{m}$ の接合で ~ 0.7 K の極低温下において 7 pA の低リーク電流を達成できた。これにより、より面積の小さい接合を開発することで、テラヘルツ光子計数に必要なリーク電流 1 pA を実現できる見通しを得ることができた。これと並行して、極低温下で高速動作する回路素子、読み出し回路のデザイン、極低温冷却システムなどの検討/開発も進んでいる。本講演では、検出器システムの技術要求について議論するとともに、開発の進捗について報告する。なお、冷却システムについては、別講演 (川村他、本年会) にて報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V131b 光子計数型 SIS 検出器のための 0.8K 冷凍器の評価

川村祐太、松尾宏、江澤元、岡田則夫（国立天文台）、久保大樹（東邦大学）

我々の研究グループで設計・開発した ^4He を用いたガス吸着型冷凍器（0.8 K 冷凍器 久保他、2014 年秋季年会 V112b）の評価実験を行った。我々は、テラヘルツ波領域の光子計数型検出器を、高速で動作する SIS 直接検出器を用いて実現しようとしている。超伝導ニオブを用いた SIS 検出器の雑音の原因となるリーク電流は 0.8 K 以下で最小となるため、高感度検出器として用いるには 0.8 K まで冷却する必要がある。そのために、 ^4He を用いた小型で冷却性能の高い 0.8 K 冷凍器の開発を行った。

冷却性能評価のため、冷凍器の最低到達温度と保持時間、0.8 K 以下を維持し続けられる熱負荷がどのくらいかを知るために 2 つの実験を行った。1 つ目の実験は熱負荷なしで到達温度と保持時間の測定した。その結果、0.8 K 以下まで冷却できたが、液体の ^4He の保持時間が 4.5 時間に対して、0.8 K 以下の保持時間は 3 時間程度であった。これは、活性炭の吸着能力不足で温度上昇が発生したことが原因と考えられる。2 つ目の実験は様々な熱負荷を与えて、到達温度を測定した。その結果、熱負荷 400 μW 程度まで、0.8 K 以下を保つことができた。これはおおむね設計通りである。本講演では、この冷凍器の評価結果を設計値と比較して詳細に報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V132a NASCO (NANTEN2 Super CO Survey as Legacy) の概要と進捗報告

大浜晶生, 堤大陸, 栗田大樹, 兵頭悠希, 山根悠望子, 稲葉哲大, 拓植紀節, 加藤千晴, 漆原宏亮, 岩村宏明, 河野樹人, 丸山将平, 古賀真沙子, 西村淳, 林克洋, 早川貴敬, 佐野栄俊, 山本宏昭, 立原研悟, 福井康雄 (名大理), 小林和宏 (名大理装置開発室), 長谷川豊, 木村公洋, 大西利和, 小川英夫 (大阪府立大学), 中島拓, 水野亮 (名大 ISEE), 鳥居和史, 南谷哲宏, 藤井泰範 (国立天文台)

我々は、小中質量星・大質量星の形成、超新星残骸、高銀緯分子雲、銀河系中心の星間現象を解明するため、NANTEN2 で一酸化炭素分子 $\text{CO}(J = 2 - 1, 1 - 0)$ 輝線を観測している。福井らは宇宙背景放射観測衛星 *Planck* によるサブミリ波のダスト放射を利用し、水素原子 HI と分子 H_2 を精密に定量する方法を見出した (Fukui et al. 2014 ApJ, Fukui et al. 2015 ApJ)。次の課題は、星間ガスの原子-分子相転移の物理を解明することである。そこで、全天約 70% をカバーする NASCO (NANTEN2 Super CO Survey as Legacy) を推進している。現在、マルチビーム受信機と望遠鏡の制御システムを開発している。

この受信機の仕様は、4 ビームの 115 GHz 帯両偏波 SSB と 1 ビームの 230 GHz 帯両偏波 2SB を合わせたマルチビーム受信機である。本受信機の特徴は 1) 冷却光学系を用いることで 115 GHz 帯と 230 GHz 帯の同時観測可能な光学系である (加藤他本年会)、2) 109-117 GHz 帯集積導波管回路により $^{12,13}\text{CO}(J = 1 - 0)$ 、 $\text{C}^{18}\text{O}(J = 1 - 0)$ を観測できるコンパクトな受信機である (堤・長谷川他本年会)、3) 受信機チューニングの自動化 (漆原他本年会) である。また、Python による望遠鏡の装置制御モジュールの開発と観測プログラムの移植も進め (兵頭他本年会)、膨大なデータ量に処理するための計算機リプレイスや広域な観測を効率良く実施するための観測プログラム自動化を進めている (岩村他本年会)。本公演では、NASCO の概要と開発の進捗について報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V133a NANTEN2 マルチビーム光学系とミラーの開発

加藤千晴, 大浜晶生, 堤大陸, 佐野栄俊, 山本宏昭, 立原研悟, 福井康雄 (名古屋大学理), 水野亮, 中島拓 (名古屋大学 ISSE), 木村公洋, 小川英夫 (大阪府立大学)

我々は、4 m サブミリ波望遠鏡 NANTEN2 を用いて、一酸化炭素分子の回転遷移輝線 ^{12}CO 、 ^{13}CO 、 C^{18}O ($J = 2 - 1$ 、 $1 - 0$) の観測を行なっている。空間分解能はそれぞれ 2.6 分角と 1.3 分角に相当し、広域の観測データから様々な星間現象 (分子雲の形成、小中質量星・大質量星の形成、超新星残骸) の解明が進められている。現在 NANTEN2 ではシングルビーム観測を行なっているが、マルチビーム観測が可能になれば、より効率よく広範囲の観測を行うことができると期待されている。

そこで、マルチビーム受信機に対応した新光学系を開発を進めている。4 ビームの 115 GHz 帯両偏波 SSB 受信機と、1 ビームの 230 GHz 帯両偏波 2SB 受信機の計 5 ビーム 2 周波数を同時受信できるよう、幾何光学と物理光学による設計を行った。これまでは、ピラミッド型ミラーを用いてビームを分離する光学系が開発が行われてきたが、この設計では光軸から各ビームまでの離角が 9 分角と広がってしまい、既存の鏡面に対しビームが蹴られてしまう問題などがあった。今回の設計では冷却ミラーを採用したことで、ミラーを小型化できるようになり、4 本の 115 GHz 帯ビームをコンパクトに配置できるようになった。光軸上にもビームを増やすことができるようになり、最終的に 5 ビーム各ビーム開口能率 0.67 以上、光軸と各ビームの間隔 6 分角の光学系を考案することに成功した。現在は、マルチビーム化に伴い新たに必要となるミラーとそのホルダーの開発を進めている。本発表では、マルチビーム光学系開発とミラーの設計について、その進捗を報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V134b CO 分子輝線観測のための 109-117 GHz 集積導波管回路の開発

長谷川豊, 木村公洋, 大西利和, 小川英夫 (大阪府立大学), 堤大陸, 大浜晶生, 西村淳, 佐野栄俊, 山本宏昭, 立原研悟, 福井康雄 (名古屋大学), 落合啓, 笠松章史 (NICT)

名古屋大学天体物理学研究室では、大質量星形成・超新星残骸・高銀緯分子雲および銀河系中心における様々な星間現象を解明するため、アタカマサイトに主鏡口径 4m の NANTEN2 望遠鏡を設置、中口径という特徴を生かした CO ($J = 1-0, 2-1$) 輝線の広範囲サーベイ観測を行い、これまでに非常に多くの成果を挙げてきた。さらに現在は、全天の約 70% という極めて広大な観測領域においてナイキストサンプリング観測を達成する NASCO 計画を開始しており、これを達成するための 100 GHz 4 ビーム + 200 GHz 1 ビームの計 5 ビーム、左右円偏波分離、サイドバンド分離受信機の開発を本格的に進めている。

我々大阪府立大学では、この受信機を実現するために必須となる 109-117 GHz 帯集積導波管回路の開発を担当している。本回路は、 ^{12}CO , ^{13}CO , C^{18}O ($J = 1-0$) の 3 輝線が含まれる 109-117 GHz を選択通過させる SSB-Filter $\times 2$, セプタム型円偏波分離器 $\times 1$, -20dB Local Coupler $\times 2$, 着脱式の SIS-Mixer Mount に対応させたインピーダンス整合器 $\times 2$ を各々最適間隔で直結させたものであり、 $46 \times 22 \times 20$ mm という極めてコンパクトな単一のコンポーネントながら従来受信機の 4 倍の観測効率を実現させる。本回路および冷却光学系により搭載可能領域の小さな NANTEN2 Dewar においてもマルチビーム受信機が実現でき、NASCO 計画の達成に対して大きく貢献できると期待している。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V135b NANTEN2 マルチビーム受信機のクライオスタットの開発

堤大陸, 大浜晶生, 栗田大樹, 漆原宏亮, 加藤千晴, 西村淳, 佐野栄俊, 山本宏昭, 立原研悟, 福井康雄 (名古屋大学理), 小林和宏 (名古屋大学理装置開発室), 鈴木和司, 中島拓, 水野亮 (名古屋大学 ISEE), 長谷川豊, 木村公洋, 小川英夫 (大阪府立大学)

我々は、4m サブミリ波望遠鏡 NANTEN2 で、南半球から観測可能な全天の約 70% をカバーする超広域 CO 観測、NASCO(NANTEN2 Super CO Survey as Legacy) 計画を推進している。この計画の主要な領域 (全天の約 37%) の高感度観測をおよそ 2 年で完遂するため新たなマルチビーム受信機を開発する。この新受信機は冷却ミラーを採用した光学設計が終了しており、光軸上に 1 ビームの 230GHz 両偏波 2SB 受信機、その周囲に 4 ビームの 115GHz 両偏波 SSB 受信機を配置し、各周波数同時受信を行う。開口能率約 67% 以上、エッジレベルは常温系で 27dB、冷却系で 15dB を達成する設計である (加藤ほか本年会)。

その光学設計をもとに各ビームの受信部を 3 次元 CAD で設計し、3D プリンタでプレモデルを試作しながら受信部のデザインを決定した。このデザインでは高地での受信機の組み立て、メンテナンスを容易に行うため、各ビームごとに独立した Gondola と呼ばれる構造を採用している。この Gondola は、2 枚の冷却ミラーおよびコルゲートホーンから冷却アンプまでを連結した一体型となっている。重力や熱による Gondola の変形はマルチビーム受信機の性能に大きく影響を与えるため、構造及び熱解析を実施した。また、現行のクライオスタットはシングルビーム用で、複数のビームの光学部品及び受信機コンポーネントを搭載するには小さい。そのため、マルチビーム受信機として使用できる大型のクライオスタットを新たに設計した。本講演では、マルチビーム受信機の全体像と、Gondola をはじめとするクライオスタット内の各部の力学解析及び熱解析の結果を報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V136b NANTEN2 マルチビーム受信機の自動チューニングシステムの開発

漆原宏亮, 大浜晶生, 西村淳, 佐野栄俊, 山本宏昭, 立原研悟, 福井康雄 (名古屋大学理), 中島拓, 水野亮 (名古屋大学 ISEE), 長谷川豊, 木村公洋, 小川英夫 (大阪府立大学), 南谷哲宏, 新関康昭, 藤井泰範 (国立天文台)

我々は、ミリ波サブミリ波望遠鏡 NANTEN2 を用いて南米チリのアタカマ高地 (標高 4800 m) で、口径 4 m という中口径の望遠鏡のフットワークを生かして広域の観測を行っている。NASCO (NANTEN2 Super CO Survey as Legacy) 計画は、チリから観測できる全天の約 70 % にわたる超広域の CO 分子雲地図を作成する計画であり、そのデータを様々な波長帯のデータと比較することで宇宙空間に広がる星間物質の性質などを明らかにできると期待する。本講演では現在開発している NASCO 用マルチビーム受信機のシステム開発について報告する。

NASCO 計画では 115 GHz 帯 4 ビーム両偏波 SSB 受信機と 230 GHz 帯 1 ビーム両偏波 2SB を組み合わせたマルチビーム受信機を搭載予定である。この受信機では計 12 個の超伝導ミキサ、20 系統の IF 信号を処理する制御システムが要求されており、これに対応するため、現在新システムの設計と構築を行っている。新システムでは、現在野辺山 45 m 鏡 FOREST 受信機で使用されている超伝導ミキサ及び初段増幅器のバイアス回路を改修して出力電圧をリモート調整可能にし、これまで手動で行ってきた受信機の調整作業を自動化するソフトウェアを実装する。また、IF 信号を処理するデバイスや局部発振器などの制御システムも現在のシングルビーム仕様のシステムでは対応できないため、マルチビームに対応したシステムに再構築する。これまでのところ、制御システムの設計は完了しており、今後は制御システムのコーディングとバイアス回路の改修を進めていく予定である。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V137a NASCO に向けた NANTEN2 制御系の開発: 1. 全体設計

岩村宏明, 丸山将平, 河野樹人, 兵頭悠希, 山根悠望子, 西村淳, 大浜晶生, 佐野栄俊, 早川貴敬, 林克洋, 山本宏昭, 立原研悟, 福井康雄 (名古屋大), 鳥居和史 (国立天文台)

我々は、全天の 70 % に及び CO の大規模サーベイを実施する NASCO プロジェクトを推進しており (大浜他本年会)、アタカマ高地に設置された NANTEN2 望遠鏡の制御システム改修を進めている。

NASCO では観測効率向上のため両偏波マルチビーム受信機を用いる。積分時間 0.1 秒でスキャンすることで要求感度を達成できる見通しであり、スキャン速度は 600 arcsec/s、出力データレートは 2 TB/day となり、これまでの約 50 倍のデータレートとなる。しかし現在の計算機構成は 2004 年の望遠鏡設置時に整備されたものであり、性能が NASCO の要求に満たない。一方で現制御システムは OS にサポートが終了した RTLinux を使用しており、計算機のリプレイスに対応出来ない。そこで我々は、OS に Linux を採用することで計算機をリプレイスし、Python を用いて観測プログラムを一新することにした。

昨年度は、装置の制御部分の開発と計算機のリプレイスを実施し、新システムでの装置の動作確認を行った (兵頭他本年会)。今年度は、(1) 観測プログラムのマルチビーム対応、(2) 受信機ローテータを使わないことによつて生じる各ビームのコリメーションエラーのモデル化、(3) 効率の良い全天マッピング方法の検討、(4) 長期観測を円滑に運用するための観測ルーチンの自動化、(5) 大容量データの輸送管理方法の検討、等を進めている。

本講演では、NASCO に向けた制御系の検討状況と開発進捗について報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V138b

NASCO に向けた NANTEN2 制御系の開発: 2. Linux/Python 化

兵頭悠希, 山根悠望子, 岩村宏明, 丸山将平, 河野樹人, 西村淳, 大浜晶生, 佐野栄俊, 早川貴敬, 林克洋, 山本宏昭, 立原研悟, 福井康雄 (名古屋大学), 鳥居和史 (国立天文台)

我々は、NANTEN2 望遠鏡を用いた CO($J=1-0$) 輝線の超広域サーベイ計画である NASCO (NANTEN2 Super CO Survey as Legacy) プロジェクトを推進している (大浜他本年会)。NASCO では、マルチビーム受信機を用いた高速スキャン観測によって全天の 70 % の領域をカバーする予定である。これを実現するために制御システムとしては、増大するデータ量に対応するための計算機リプレイスや広域の観測を効率良く実施するための観測プログラム自動化を進めている (岩村他本年会)。従来の NANTEN2 制御システムは、現在サポートが終了した Real-Time Linux 上に構築されており計算機のリプレイスに対応させることは困難であったため、より汎用的な Linux/Python をベースに観測プログラムを構築し直すことにした。

昨年度より Python による装置制御モジュールの開発と観測プログラムの移植に着手している。2015 年 12 月に計算機のリプレイスと Linux 化を実施し、装置の制御試験を開始した。まず、アンテナやミラーなど各装置が正常に動作することを確認した。次に、月などいくつかの天体を追尾させ、光学ポインティング用の CCD カメラで確認することで、座標計算が正しく行われていることを確認した。さらに、天体の追尾精度が典型的に $0.35''$ (rms) であることなどを確認し、アンテナ駆動が従来と同等の性能に達していることを確認した。2016 年 6 月からは観測プログラムの動作試験を進めており、今シーズンはシングルビーム受信機での科学運用を予定している。今後はマルチビーム化と自動化の開発を進め、2016 年 9 月のファーストライトを目指す。本講演では新制御システムの開発進捗と試験結果について報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V139b 光線追跡ソフトウェアによる広視野電波望遠鏡のビーム性能評価

今田 大皓 (ISAS/JAXA), 永井 誠 (筑波大学)

LiteBIRD (関本ほか、本年会) や南極望遠鏡計画 (2014 年秋季年会 V103a) といった広視野の電波望遠鏡を用いた観測計画を進める上で、電波望遠鏡の視野を広げるための系統だった手法の確立は必須である。これまで、広視野電波望遠鏡の光学系を設計する際に用いられることが多かった手法は、光線追跡から比較的容易に算出できるストレール比を計算し、ストレール比が良好な設計に対して改めて物理光学による評価を行うというものであった。電波望遠鏡の評価に必要な指標は開口能率やビームパターンといったものであり、光線追跡では評価が難しいことからこのような手法を取ることが多かった。しかし、このような方法は、物理光学の計算に比較的時間を要する、どの設計パラメータを調整すれば性能が改善するかの見極めが極めて難しい、公差解析のような何万通りもの場合を計算すると現実的な時間で終わらない、といった問題を抱えている。

Nagai & Imada (2016) と Imada & Nagai (2016) による理論的な考察から、波面収差とフィードの特性の関数として、開口能率やビームパターンを記述できることが明らかになった。波面収差は光線追跡から多くの場合において精度よく計算することができる。本講演では光線追跡のソフトウェアに開口能率を計算するスクリプトを実装し、簡単な系の設計を試行した。その結果について紹介する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V140b

ABCD 行列を用いた LiteBIRD 水口ドラゴン光学系の更なる広視野化

鹿島伸悟、関本裕太郎 (NAOJ)、松村知岳 (JAXA)、菅井肇 (東京大学)、木村公洋 (大阪府立大学)、羽澄昌史 (KEK)、他 LiteBIRD WG メンバー

我々は、インフレーションモデルの検証を目的に宇宙マイクロ波背景放射 (CMB) 観測衛星 LiteBIRD の開発を進めており、この衛星に搭載する光学系候補のひとつとして、水口ドラゴン型を検討している。水口ドラゴン型は光学系全体 (主鏡・副鏡・焦点面) がコンパクトにまとまっていることから衛星搭載に適しており、更に広視野を確保できるという特徴を持つ為、CMB 観測にも適している。

LiteBIRD 光学系に求められる仕様として重要なのが、キャリブレーション精度を決める「開口径」と全天掃引の効率に影響を及ぼす「広視野 (Wide FOV)」である。前回報告した光学系でも、主鏡・副鏡を共にアナモルフィック非球面とすることで従来にない広視野且つ高性能を実現していたが、今回設計に ABCD 行列を用いることで、更なる最適化 (真のグローバルミニマム探索) が可能となり、更に広視野の光学系が設計できた。ABCD 行列というのは、従来の回転対称光学系で用いられていた「近軸量」に相当する 1 次量を、大偏心系の各画角で精密に計算するものであり、これを用いることにより、光学系のレイアウトは xy 非対称の大偏心系・光学性能は視野によらず均等 (対称) という相矛盾する仕様を効率よく満たした設計を行うことが可能となった。

また、集光性能だけでなく、PSF の対称性や偏光特性等を視野全域で効率よく評価する手法も開発した結果、開口径 $\phi 400\text{mm}/F_{\text{no}}3.0$ という仕様では、最大 32×18 度という極めて広い視野を確保することができた。更に、開口径 $\phi 600\text{mm}/F_{\text{no}}2.5$ でも最大 28×14 度という広視野を達成できた。本発表では、これらの設計手法及び設計結果・性能評価手法に関して詳細に報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V141a CMB 偏光観測衛星 LiteBIRD フェーズ A1 に向けて

関本裕太郎, 長谷部孝, 鹿島伸悟 (国立天文台), 羽澄昌史, 永田竜, 南雄人 (KEK), 松村知岳, 堂谷忠靖, 今田大皓 (ISAS), 片山伸彦, 菅井肇, 桜井雄基 (東大 IPMU), 石野宏和, 魚住聖 (岡山大), 小松英一郎 (マックスプランク研究所), 他 LiteBIRD ワーキンググループ同

LiteBIRD はインフレーションによる原始重力波を検出することを目的とした科学衛星計画で、2025年の打ち上げを目指している。およそ1度角の分解能で視野 20×10 度を持つ反射型低周波望遠鏡 (Low frequency telescope: LFT) 及び屈折型高周望遠鏡 (High frequency telescope: HFT) 及び 100mK に冷却された多色超伝導検出器アレイを用いて、宇宙マイクロ波背景放射 (Cosmic Microwave Background、CMB) の偏光を全天にわたり精密観測する。ラグランジュ軌道 L2 における3年間の観測により、マップの精度としておよそ $2.5 \mu\text{K}\cdot\text{arcmin}$ を達成し、原始重力波の痕跡である B モード偏光を、 $\delta r < 0.001$ の精度で検出する。ここで、 r は B モード偏光の強度を示すパラメータ (テンソル・スカラー比) で、 δr はその総誤差をあらわす。銀河ダストやシンクロトロン放射等の前景放射を分離するため、40 – 400 GHz の周波数帯域をカバーする多周波観測を行う。

2016年5月に JAXA 宇宙科学研究所が主催して国際科学審査会を行った。2016年7月に JAXA 宇宙科学研究所のフェーズ A1 計画審査を予定している。また、米国 LiteBIRD チームも、NASA に対する LiteBIRD への参加提案が最初の審査を通過し、フェーズ A の検討を進めている。本講演では、LiteBIRD 計画のミッション 及びシステムの設計や検討について、2016年前半の進展を報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V142a **CMB 偏光観測衛星 LiteBIRD における系統誤差の研究 VIII**

永田竜 (KEK) ほか LiteBIRD working group

数百億光年に及ぶ波長を持った原始重力波の存在はインフレーション理論に通有の予言であり、その波の強度は「何時インフレーションが起こったか」の指標である。マイクロ波背景輻射偏光観測衛星 LiteBIRD は、偏光地図の奇パリティ成分に刻印された原始重力波の信号検出を目指して現在進行中の計画である。

原始重力波に由来する偏光信号は、既に観測で確認されている密度揺らぎ由来の偏光成分に比較して極めて微弱な信号であると考えられており、その検出に向けた取り組みにおいては、高感度の装置を開発するだけでなく、徹底した系統誤差の理解と克服が必要不可欠な要素である。今回の講演では、系統誤差評価及びその軽減に向けた取り組みにおける最近の進展の報告を行う。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V143a きゃらばん・サブミリとVLBIデータ較正の確認法II

三好真 (国立天文台)、春日隆 (法政大)、岡朋治 (慶應大)、高橋真聡 (愛教大)、ホセ・イシツカ (IGP)、ほかメンバ

SgrA*などの降着円盤やブラックホール・ホライズンの撮像をめざす「きゃらばん・サブミリ計画」を進めている。南米アンデス高地に移動型電波望遠鏡を含むVLBI網を作り、正しい像合成に『必須』の1~2千kmの短基線VLBI(230GHz帯)を実現、ブラックホールの撮像を行う。(1)へら絞り法による高精度アンテナ面(15ミクロンrms)の達成、(2)春日らによるミリ波帯低損失導波管の検討、(3)国内230GVLBI実験(MICE2015-藤沢らによる)でのフリッジ検出、(4)ペルー・ボリビアの雨季乾季でのサイトサーベイ、により技術検証はほぼ終了したと考えている。

残る課題はデータ較正である。ミリ波~サブミリ波、かつuvカバーが疎であるVLBIでは、データ較正は大変困難である。系統誤差の残留が結果に大きな影響を及ぼす。かつて、測地VLBIでは、各記録チャンネルの系統誤差残差が群遅延精度の向上を阻んでいた。像合成でも大問題である。そこでデータの較正の妥当性を評価するVERICAを開発し、2014年・2016年春季年会で報告した。観測データには天体情報(信号成分)と誤差を含む。信号成分を消去できれば、その後の残差の統計的挙動を調べることで有害な系統誤差残差の多寡を検査できる。同一基線にて同時記録した複数チャンネルのデータを、独立にフリッジサーチ・セルフキャリブレーションして較正した場合、そこには信号成分と各記録チャンネル固有の残留誤差が含まれる。差分をとれば信号成分は消去され、残留誤差の差となる。その統計的振る舞いからデータ較正の妥当性をチェックできる。この方法を実データに適用、系統誤差の検出結果について述べ、手法の有効性を説明する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V144a 山口干渉計の構築

藤沢健太, 新沼浩太郎, 青木貴弘 (山口大学)

山口 32m 電波望遠鏡 (以下、山口第 1) は、KDDI が衛星通信に用いていたアンテナを電波望遠鏡に転用したものである。2002 年の運用開始から 10 年以上が経過しており、星形成や AGN の研究で成果を挙げている。

山口 32m 電波望遠鏡から 100m ほど離れた位置に口径 34m のアンテナ (以下、山口第 2) がある。通信用の業務はすでに終了しており、これを電波望遠鏡とする計画が KDDI と山口大学の間で進められてきた。2016 年 1 月から賃貸によって山口大学が利用することとなり、電波望遠鏡化が開始された。その最初の成果について報告する。

山口第 2 を用いる主な研究目的は、山口第 1 と結合した干渉計を構築して、微弱な連続波天体のフラックス密度測定を行うことである。1 mJy 程度の検出感度を目標としており、これが達成されれば、弱電波 AGN、銀河系内コンパクト天体、トランジェントなどのフラックス密度測定・モニターに強力な装置となる。

このために (1) 天体追尾システムの構築、(2) 試験受信システム、(3) 信号伝送部、(4) 干渉部をそれぞれ構築した。1 の追尾システムは完成、2 ~ 4 は試験段階ではあるが、正常な動作が確認されている。試験観測の結果、2016 年 5 月 2 日にフリンジ (干渉縞) の検出に成功し、「山口干渉計」として動作することを確認できた。

今年度の目標は、山口第 2 の安定運用、相関処理の高速化と安定運用、最初の科学プログラムを開始することである。

(この研究は、三菱財団、国立天文台共同開発研究、山口大学戦略的研究推進プログラムの支援を受けています)

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V145a 広帯域フィードの開発 (XI)

氏原秀樹, 岳藤一宏, 関戸衛 (情報通信研究機構)

鹿島では広帯域測地 VLBI の VGOS (VLBI2010) への応用を意識しつつ、VLBI による原子時計の精密周波数比較プロジェクトに特化した広帯域受信システム「Gala-V」を開発中である。Gala-V の受信周波数は周辺の RFI 状況と周波数の 0 冗長配列条件で最適化し、3.2-4.8GHz, 4.8-6.4GHz, 9.6-11.2GHz, 12.8-14.4GHz の 1.6GHz 幅 4ch とした。製作中の 34m 用広帯域フィード (イグアナフィード) は入れ子構造で、外側の母フィードで Gala-V の下位 2ch、内側の娘フィードで上位 2ch を分担する。開口能率の変動を容認して 2.2-18GHz あるいは 22GHz の受信帯域が目標である。しかし母フィードの形状が複雑で制作に時間がかかるので、これの娘フィード試作機のみを 34m に搭載し直線 1 偏波で先行利用してきた。試作 2 号機での 34m アンテナの開口能率は 6.5-15GHz で 30-50% で、メタノール・メーザの 6.7GHz/12.2GHz 同時受信、小金井と筑波の小型 VLBI 可搬局 MARBLE や国土地理院との間で広帯域でのフリンジテストなどのさまざまな試験を行ってきた。

これまでのイグアナフィードはカセグレン光学系に適合した狭いビームだが、パラボラの直焦点用のビームの広い広帯域フィードも開発し、2015 年度はこれをカセグレン焦点用にアレンジした 3.2-14.4GHz の広帯域フィードを 34m アンテナに搭載し、これら広帯域フィード用の直線 2 偏波の出力端子も製作した。MARBLE は主鏡 (1.5m と 1.6m の各 1 台) を 2.4m に交換するとともにカセグレン光学系に変更し、使用中の市販のクワッドリッジフィードを新フィードと交換してシステム全体の SNR で 2 倍程度の向上を図る予定で、2016 年春に小金井局を先行改造して試験中である。広帯域の伝送系とサンブラの整備も継続的に行っており国内では最も SKA に近いシステムと言える。その開発状況を報告する。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

V146a

POLARBEAR 実験:主焦点連続回転半波長板による交差偏波特性の評価

P.Ade(Cardiff Univ.), 秋葉祥希, 瀬川優子, 高取沙悠理 (総研大), C.Aleman, M.Atlas, T.Elleflot, G.Fuller, L. San Diego), K.Arnold(UW-Madison), C.Baccigalupi, G.Fabbian, G.Puglisi(SISSA), B.Barch, D.Barron, 茅根裕司, A.Cukierman, J.Errard, N.Goeckner-Wald, J.Groh, T.de Haan, G.Hall, C.Hill, W.Holzappel, O.Je 鈴木有春, N.Whitehorn, O.Zahn(UC Berkeley), A.Bender(Argonne NL), D.Boettger, R.Dunner(PUC), J.I 日下暁人, E.Linder(LBNL), S.Chapman, C.Ross, K.Rotermund, A.Tikhomirov(Dalhousie), M.Dobbs, A.G Univ.), A.Ducout, S.Feeney, A.Jaffe(Imperial College), C.Feng(UC Irvine), 藤野琢郎, 入江郁也, 水上邦義, 山下徹 (YNU), N.Halverson, G.Jaehnig, D.Schenck(CU Boulder), 濱田崇穂 (Tohoku Univ.), 長谷川雅也, 羽澄昌史, 西野玄記, 鈴木純一, 田島治, 都丸隆行(KEK), 服部香里(AIST), 井上 優貴(Academia Sinica), 片山伸彦(Kavli IPMU), Z.Kermish(Princeton), M.Le Jeune, J.Peloton, D.Poletti Astroparticule & Cosmologie), 松村知岳(JAXA), N.Miller(NASA Goddard), C.Reichardt(U.Melbourne), 高田卓(核融合研), 高倉理

CMB 偏光観測実験 POLARBEAR では広視野観測で問題となる $1/f$ ノイズ低減のため、主焦点に連続回転半波長板を設置した。しかし、主焦点に半波長板を設置すると、水口ドラゴン条件を満たした光学系が破綻し、交差偏波特性が悪化する。本研究では物理光学シミュレータ等を用いて交差偏波特性の悪化の度合いを見積もった。また得られた交差偏波特性による CMB パワースペクトル観測への系統誤差を評価し、重力レンズ効果起源 B モードより十分小さいことを確認した。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

V147a 宇宙マイクロ波背景放射偏光観測実験 POLARBEAR-2 計画の進展

西野玄記 (KEK 素核研), 秋葉祥希 (総研大), 井上優貴 (Academia Sinica), 片山伸彦 (Kavli IPMU), 鈴木有春 (UC Berkeley), 鈴木純一 (KEK 素核研), 瀬川優子 (総研大), 高倉理 (大阪大), 高取沙悠理 (総研大), 高田卓 (核融合研), 茅根裕司 (UC Berkeley), 都丸隆行 (KEK 超伝導), 羽澄昌史 (KEK 素核研), 長谷川雅也 (KEK 素核研), 服部香里 (産総研), 濱田崇穂 (東北大), 松村知岳 (JAXA/ISAS), 他 POLARBEAR-2 コラボレーション

POLARBEAR-2 は、宇宙マイクロ波背景放射における偏光成分を精密に測定することにより宇宙誕生初期のインフレーションの検証などを目的とした、南米チリ・アタカマ砂漠における地上実験 POLARBEAR のアップグレード計画である。2012 年から現在に至るまで観測を続けている現行実験では超伝導 TES ボロメータを 1,274 個を用いて 150GHz 帯を観測しているのに対し、POLARBEAR-2 ではその約 6 倍の 7,588 個の TES ボロメータを搭載し、95 GHz と 150 GHz の二つの周波数帯に感度をもったレーザーを開発し、観測の多波長化、高感度化を目指す。さらに、その POLARBEAR-2 と同じ型のレーザーを載せた望遠鏡 3 台の同時運用による更なる統計感度の向上、観測周波数帯の追加による前景放射起因の系統誤差の減少を目的としたアップグレード (Simons Array) に発展する計画である。それらのアップグレードにより、宇宙の大規模構造による重力レンズ効果や宇宙初期の原始重力波などによって作られたとされる渦巻状の偏光パターン (B モード偏光) をこれまでと比べて飛躍的に高い精度で測定する。現在、チリの観測サイトでは新たな望遠鏡の建設が行われている一方、高エネルギー加速器研究機構で開発が進行中の新型レーザーにおいては光学試験、読み出し試験などによるシステムの評価が進んでいる。本発表では、POLARBEAR-2 計画の概要を説明し、さらに、計画の最近の進展について報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V148a 宇宙マイクロ波背景放射 B モード偏光観測実験 POLARBEAR-2 におけるビームマップ測定 (2)

濱田崇穂 (東北大), 秋葉祥希 (総研大), 井上優貴 (Academia Sinica), 片山伸彦 (Kavli IPMU), 鈴木有春 (UC Berkeley), 鈴木純一 (KEK 素核研), 瀬川優子 (総研大), 高倉理 (大阪大), 高取沙悠理 (総研大), 茅根裕司 (UC Berkeley), 都丸隆行 (KEK 超伝導), 西野玄記 (KEK 素核研), 羽澄昌史 (KEK 素核研), 長谷川雅也 (KEK 素核研), 服部香里 (産総研), Frederick Matsuda (UC San Diego), 他 POLARBEAR-2 コラボレーション

POLARBEAR-2 実験は、インフレーション理論の検証を主な目的とし、宇宙マイクロ波背景放射 (Cosmic Microwave Background radiation, CMB) の B モード偏光の精密観測を目指す。2017 年からチリのアタカマ高地で観測を開始する予定である。

受信システムに 7588 個もの超伝導転移端 (Transition Edge Sensor, TES) ボロメータを用いており、高い統計感度を得ることができる。また、95GHz と 150GHz の 2 帯域同時観測により、前景放射の抑制を行う。

POLARBEAR-2 実験の要求する観測精度を満たすために、望遠鏡の内部に搭載する受信システムの光学系の評価を実験室レベルで行う必要がある。発表者は、受信システムのビーム形状を測定する装置 (ビーム Mapper) を開発した。

ビーム Mapper を用いて、受信システム内にあるグレゴリアン焦点の位置を測定した。また、楕円鏡によって受信システム外に再構成された焦点を測定し、フーリエ分光器による周波数特性試験のためのアライメントを行った。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V149a **宇宙マイクロ波背景放射偏光観測実験 POLARBEAR-2 のための人工較正光源の開発**

高取沙悠理 (総研大), 秋葉祥希 (総研大), 井上優貴 (Academia Sinica), 片山伸彦 (Kavli IPMU), 鈴木有春 (UC Berkeley), 鈴木純一 (KEK 素核研), 瀬川優子 (総研大), 高倉理 (大阪大), 高田卓 (核融合研), 茅根裕司 (UC Berkeley), 都丸隆行 (KEK 超伝導), 西野玄記 (KEK 素核研), 羽澄昌史 (KEK 素核研), 長谷川雅也 (KEK 素核研), 服部香里 (産総研), 濱田崇穂 (東北大), Frederick Matsuda (UC San Diego), 他 POLARBEAR-2 コラホレーション

POLARBEAR-2(PB-2) 実験は宇宙マイクロ波背景放射 (CMB) に生成される B モードと呼ばれる特殊な偏光ハターンの精密観測を行うことで、インフレーションモデルやニュートリノ質量和に強い制限を与える事を目的とする。PB-2 実験は現在稼働中の POLARBEAR-1 受信機と比べて約 6 倍となる 7588 個の超伝導検出器を搭載した新しい受信機を使用し、南米チリのアタカマ砂漠 (標高 5200m) において CMB 偏光の精密観測を行う。大角度スケールの観測では大気ゆらきによる検出器の応答性の変化が系統誤差の原因となる。そのため望遠鏡内部に人工較正光源を設置し、副鏡に開けた小さな穴から受信機システムに向けて一定強度のミリ波を入射し、その信号に対する検出器の出力を評価することで検出器の較正を行う。本発表では、人工較正光源の開発状況について報告を行う。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V150a 高感度大気水蒸気モニター“KUMODeS”の開発 – 長期試験観測

長崎岳人, 田島治 (高エネルギー加速器研究機構), 荒木健太郎, 石元裕史 (気象庁気象研究所),

大気水蒸気モニター“KUMODeS (クモデス)”は、大気中に存在する水蒸気から放射される電波を測定し、水蒸気量を同定する地上設置型のラジオメータである。近年、竜巻やゲリラ豪雨などの突発的な気象災害の前兆として、大気中の水蒸気の急増を捕らえる研究が注目されている。大気水蒸気の急増は雲が生成される前に発生するため、避難等の時間的猶予を生み出す。現在は常温受信機による観測が一般的であり、受信機感度の点から空一点の積分時間が長く、広天域観測に用いることが難しいという側面を抱えている。

KUMODeSは機械式冷凍機で冷却した20–30 GHz (水蒸気) 帯受信機ならびに常温の50–60 GHz 帯 (酸素) 受信機として、広帯域な HEMT 受信機を採用し、短時間で全天の水蒸気分布を同定する。また、20–30 GHz 帯受信機の冷凍機を併用し、大気放射温度に近い冷却黒体を搭載する。これにより、両帯域において自動信号較正と測定精度の向上を実現する。これまで両帯域の受信機と信号較正系の開発を進めてきた。今回、信号較正系の大気観測時における性能評価、ならびに2016年4月よりつくば市において長期観測を実施した。本公演では、装置の概要ならびに上記の試験結果を合わせて報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V151a 太陽系地球型惑星の中層大気環境監視プロジェクト SPART の進捗報告

前澤裕之, 森前和宣, 原口大輝, 齋藤滉介, 西田侑治, 松本怜, 青木亮輔, 黒田麻友, 大西利和 (大阪府立大学), 岩下浩幸, 半田一幸, 神澤富雄, 大矢正明, 前川淳, 齋藤正雄 (国立天文台), 佐川英夫 (京都産業大学), 今村剛 (JAXA/ISAS), 他 SPART グループ

近年、系外惑星の探査研究が活発に展開されている。中心星が周囲の惑星の中層大気に与える影響を把握するためには、まず G 型星である太陽の活動が地球型惑星の中層大気に与える影響について理解を深めていく必要がある。我々は、国立天文台野辺山宇宙電波観測所 (NRO) の口径 10 m の単一鏡を利活用し、太陽系惑星大気監視プロジェクト (SPART : Solar Planetary Atmosphere Research Telescope) を推進している。これまでに SPART は、主として、金星や火星の一酸化炭素とその同位体の 100/200GHz 帯吸収スペクトル線を監視してきた。2011-2016 年の観測期間において、金星の高度 80 km 付近の CO 混合比の全球平均は約 60 ppmv であった。NRO の太陽電波強度偏波計 1 GHz 帯のデータによると、この期間、太陽はほぼ極大期を維持していた。しかし過去の Cycle-22 の CO 混合比と比べて、この Cycle-24 の CO 混合比は半減していることが分かった。このことは近年の太陽活動の低下傾向との関連を示唆している可能性がある。ただし、CO は短期スケールでの変動も大きいことも分かり、これには硫化物・HO_x 種などの化学反応ネットワークと大気ダイナミクスのリンクが寄与しているものと推察され、Venus Climate Orbiter 「あかつき」(JAXA/ISAS) との連携研究を進めている。今季より、SPART 望遠鏡のコンソール室を新たに立ち上げ、一般の来訪者が運用の様子を見学できるようにディスプレイした。また、老朽化した Az,El モータを取り外してカーボンブラシや整流子のテンション等のオーバーホールを試み、運用を継続していく予定である。本講演では、SPART の進捗について報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

【V2. 観測機器】

9月14日(水) 午後(15:00-17:00) [F会場]

V201a	15:00	光ファイバベース 1.55 μm (193 THz) ヘテロダイン光干渉計の検討 その2	木内等 (国立天文台)
V202a	15:12	IRDのためのモードスクランブラー試験	石塚将斗 (東京大学)
V203a	15:24	国産の天文観測用低ノイズ InGaAs 近赤外線イメージセンサーの試作	中屋秀彦 (国立天文台)
V204b	15:36	FOCAS用イメージスライサー型面分光ユニットの開発 7	尾崎忍夫 (国立天文台)
V205b	15:36	FITE用信号読み出し回路の改良と遠赤外線センサーの感度測定	大山照平 (大阪大学)
V206b	15:36	偏光分光観測による系外惑星水蒸気探査の実現可能性	高橋隼 (兵庫県立大学)
V207a	15:48	TMT/MICHI 冷却チョッピングに用いる超伝導ボイスコイルモーターの性能評価	毛利清 (東京大学)
V208a	16:00	飛騨天文台 SMART T1用 H α 線狭帯域チューナブルフィルターの開発	大辻賢一 (京都大学)
V209a	16:12	狭帯域液晶チューナブルフィルター (TF-40) の製作	木村剛一 (京都大学)
V210a	16:24	突発天体観測用天文台全球リレーのための気象モニターの開発	谷津陽一 (東京工業大学)
V211a	16:36	地球型系外惑星大気分光に向けた高安定分光器の基礎研究	伊藤哲司 (大阪大学)
V212a	16:48	ぐんま天文台 150cm 望遠鏡による静止衛星観測の試み	橋本修 (ぐんま天文台)

9月15日(木) 午前(09:30-11:30) [F会場]

V213a	09:30	TMT 計画 - 進捗報告	白田知史 (国立天文台)
V214a	09:42	TMT 計画: ハワイ建設許可状況とバックアップサイト選定	家正則 (国立天文台)
V215a	09:54	明るい星専用赤外線望遠鏡 IR-TMT	花上拓海 (東北大学)
V216b	10:06	HSC 戦略枠観測のデータリリース状況	池田浩之 (国立天文台)
V217b	10:06	HSC 画像からの自動ゴースト除去	小宮山裕 (国立天文台)
V218b	10:06	すばる望遠鏡 HSC pipeline ヘルプデスク開設とその取り組み	大石晋恵 (国立天文台)
V219b	10:18	チベットロボット三色撮像カメラ (HinOTORI): 輸送と建設	内海洋輔 (広島大学)
V220b	10:18	木曾超広視野高速 CMOS カメラ Tomo-e Gozen 実機の開発 - 基本設計	酒向重行 (東京大学)
V221b	10:18	木曾超広視野高速 CMOS カメラ Tomo-e Gozen 試験機による高頻度測光の評価	一木真 (東京大学)
V222a	10:30	木曾超広視野高速 CMOS カメラ Tomo-e Gozen 試験機の機械系の開発	高橋英則 (東京大学)
V223a	10:42	近赤外線観測装置 SWIMS の低温結像性能評価	大橋宗史 (東京大学)
V224b	10:54	HONIR 用新検出器読み出しシステムのノイズ改善に向けた研究	森裕樹 (広島大学)
V225b	10:54	近赤外線 2色同時多天体分光撮像装置 SWIMS の検出器性能評価	寺尾恭範 (東京大学)
V226b	10:54	nuMOIRCS Project 2: Final Imaging and Spectroscopic Performance	田中聡 (国立天文台)
V227a	11:06	京大岡山 3.8m 望遠鏡に搭載する分割主鏡制御システム	木野勝 (京都大学)
V228a	11:18	京都大学飛騨天文台 SMART 太陽全面像高速撮像装置のハード設計・製作	仲谷善一 (京都大学)
V229c		可視偏光撮像観測装置 iPol の開発	楠根貴成 (名古屋市立大学)

(次頁に続く)

【V2. 観測機器】

9月15日(木) 午後(13:30-15:30) [F会場]

V230a	13:30	26cm 口径可視光望遠鏡によるフレア観測に向けた自動観測システムの構築	山田宗次郎 (中央大学)
V231a	13:42	岡山天体物理観測所のリモート観測環境構築 2	柳澤顕史 (国立天文台)
V232b	13:54	岡山 188cm 望遠鏡と高分散分光器 HIDES-F のキューモード観測環境の構築	前原裕之 (国立天文台)
V233b	13:54	埼玉大学望遠鏡・装置制御系“SaCRA システム”による多波長複数装置同時観測	柴田吉輝 (埼玉大学)
V234b	13:54	太陽 GLAO のための波面センシング法の開発	三浦則明 (北見工業大学)
V235a	14:06	京大岡山 3.8m 望遠鏡搭載に向けた高コントラスト装置 SPLINE の開発	黒田真之佑 (北海道大学)
V236a	14:18	瞳再配置型光学系による位相マスクコロナグラフの実証実験 2	赤岩夏海 (北海道大学)
V237a	14:30	広帯域コロナグラフ観測を目指した 3 層 8 分割位相マスクの特性評価	小室佑介 (北海道大学)
V238a	14:42	WFIRST コロナグラフのための偏光補正デバイスの開発	村上尚史 (北海道大学)
V239a	14:54	冷却補償光学系用「アサーマル型モノモルフ DM」の試作品の評価	山口仁志 (京都産業大学)
V240c		多天体補償光学に向けた Open-Loop 補償光学系での波面補償の試験	鈴木元気 (東北大学)
V241c		補償光学シミュレーションに向けたシーイングの波長依存性の観測的評価	大屋真 (国立天文台)
V242a	15:06	天体観測のための補償光学システム開発	中村祐一 (大阪電気通信大学)
V243a	15:18	飛騨常設補償光学系の開発：光学系の校正と観測	三浦則明 (北見工業大学)
V244c		西はりま VTOS によるスペックル観測とデータ処理 (2)：EMCCD の特性解析	桑村進 (北見工業大学)

9月16日(金) 午前(09:30-11:42) [F会場]

V245a	09:30	大型低温重力波望遠鏡 KAGRA プロジェクトの現状	正田亜八香 (国立天文台)
V246a	09:42	大型低温重力波望遠鏡 KAGRA の補助光学系の開発 VII	阿久津智忠 (国立天文台)
V247a	09:54	新しい姿勢制御方式を用いた重力波天体探査衛星	針田聖平 (東京工業大学)
V248a	10:06	革新技術実証衛星のためのスタートラッカーと地球カメラの開発	村木雄太郎 (東京工業大学)
V249a	10:18	「あかり」近赤外線グリズム分光観測における二次光影響の補正：液体ヘリウム枯渇後 (1)	馬場俊介 (宇宙航空研究開発機構/東京大学)
V250a	10:30	Nano-JASMINE と小型 JASMINE の進捗状況概要	郷田直輝 (国立天文台)
V251a	10:42	Nano-JASMINE と小型 JASMINE のデータ解析の準備状況	山田良透 (京都大学)
V252b	10:54	小型 JASMINE 光学系に最適な性能評価関数	鹿島伸悟 (国立天文台)
V253b	10:54	小型 JASMINE 衛星の要素検証実験について	上田暁俊 (国立天文台)
V254c		Nano-JASMINE:現状と FDCCD の PRF 測定	小林行泰 (国立天文台)
V255b	10:54	宇宙赤外線背景放射の観測用ロケット実験 CIBER-2：望遠鏡試験	高橋葵 (総合研究大学院大学)
V256a	11:06	SPICA (次世代赤外線天文衛星) 計画の進捗状況	芝井広 (大阪大学)
V257a	11:18	SPICA 搭載 中間赤外線観測装置 SMI：ESA M5 提案に向けた仕様の確定	金田英宏 (名古屋大学)
V258a	11:30	A SPICA far-IR spectrometer SAFARI toward ESA M5 proposal	土井靖生 (東京大学)

V201a 光ファイバベース 1.55 μm (193 THz) ヘテロダイン光干渉計の検討 その2

木内等 (国立天文台)

ヘテロダイン技術を用いた電波干渉計は、高周波化が進み THz 領域に達している。テラヘルツ領域には地球大気の電波の窓があり、今後有望な周波数帯と言える。今回、THz 領域より更に高い周波数での大気の窓のある近赤外領域での干渉計の可能性を探る。光の干渉計としては、直接干渉方式の研究が国立天文台でも行われてきた。直接干渉方式では最重要技術として、フリンジ検出のために2つの光干渉素子の光路長差を補償するための Delay Tracker の機械工作・位置制御に超高精度が要求され、システム構成が大きく温度管理など運用の面も難しい。これは、光の周波数が非常に高く、コヒーレンス長が光波長レベルになってしまうことが原因である。光直接干渉方式において、一般的な電波干渉計のようなヘテロダイン方式を採用できればこの制約から逃れられる。光アライメントも汎用性を低くするので、全系ファイバベースでのシステム検討を行った。今回、光ヘテロダイン技術の検討を行い、光信号をマイクロ波に周波数変換することでコヒーレンス長を長くし、デジタル的な相関処理が可能な干渉計システムを検討した。初期段階の基礎実験システムを検討したので報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V202a IRDのためのモードスクランブラー試験

石塚将斗, 小谷隆行 (国立天文台/ABC)、西川淳 (国立天文台/ABC)、田村元秀 (東京大学/国立天文台/ABC)、森貴宏 (農工大)、小久保宰 (農工大)、黒川隆志 (農工大)

系外惑星の発見数は年々増加しており、近年では地球型惑星の検出が世界中の目標となっている。視線速度 (Radial Velocity, RV) 法で地球型惑星探査を行う場合、惑星によって引き起こされる主星の視線速度変化が大きいため、太陽型星よりも M 型星などの低質量星の方が有利である。そこで我々は、すばる用高分散分光器 IRD (Infrared Doppler) を製作している。M 型星周囲の惑星探査を行うため、M 型星が放射のピークを持つ近赤外波長域で RV 法を行う。波長校正として光周波数コム装置と組み合わせることにより、目指す視線速度測定精度は 1m/s であり、これによって M 型星周囲の地球型惑星の検出が可能になる。

1m/s の視線速度測定精度を目指す近赤外での RV 法では、焦点やポインティングの変動などによって生じるスベックル状のモーダルノイズとよばれるノイズが主要な誤差要因となる。このノイズのため、可視光での RV 法と比較して、精度が出にくいことが問題となっている。このノイズをスクランブルという手法で低減する必要があるが、近赤外波長域で決定的な手法は見つかっておらず、詳しい調査が必要である。今回我々は、様々なスクランブラの比較実験を行った。可変型鏡を用いて大気のシーイングを模擬するなど、実際の観測に近い条件でファイバ出射光の安定性を調べた。本講演ではこのスクランブラ実験の結果について述べる。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V203a 国産の天文観測用低ノイズInGaAs近赤外線イメージセンサーの試作

中屋秀彦, 小宮山裕, 柏川伸成 (国立天文台), 内田智久 (高エネルギー加速器研究機構), 永山貴宏 (鹿児島大学), 吉田道利 (広島大学)

InGaAs 検出器は 0.9-1.6 μm (冷却時) に感度がある近赤外線検出器である。この波長域に感度がある検出器として多く使われている HgCdTe 検出器と同様、化合物半導体フォトダイオードアレイと CMOS 読み出し IC を貼り合わせた構造となっている。InGaAs 検出器は、1 μm まで感度がある CCD などの Si 検出器では観測できない近赤外線波長を、HgCdTe 検出器に比べて安価に観測できると期待される。

InGaAs イメージセンサーは既に国産市販品が入手可能である。我々は国産市販品の冷却評価試験 (2015 年秋季年会) を行ったが、読み出しノイズと暗電流が大きく、天文観測での使用は難しいことがわかった。一方で、文献や低ノイズ読み出し IC の試作経験 (2014 年秋季年会) から、読み出しノイズと暗電流の大きい原因が読み出し IC にあると考えた。

そこで、市販素子と同一フォーマット (128x128x20 μm 画素) の低ノイズ読み出し IC を設計・試作して、市販素子のフォトダイオードアレイを貼り合わせた InGaAs イメージセンサーを試作した。読み出し IC には 4 種類の画素回路を組み込み、低温での読み出し性能を評価した。

測定の結果、読み出しノイズは 15 μm 画素を想定した画素回路で 22e、17 μm 画素を想定した画素回路で 16e、暗電流は検出器温度 130K 程度で 0.1e/s 以下になることがわかり、天文観測で使用できる読み出し性能を確認することができた。一方で、回路の一部が発光する問題があることも確認した。本講演ではこれらの測定結果と今後の計画について報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V204b FOCAS用イメージスライサー型面分光ユニットの開発 7

尾崎忍夫, 服部堯, 福嶋美津広, ミツ井健司, 岩下光, 田中陽子, 都築俊宏, 岡田則夫, 宮崎聡, 山下卓也, 大淵喜之 (国立天文台)

我々はすばる望遠鏡で稼働中の可視光撮像分光装置 FOCAS に搭載する面分光ユニット (Integral Field Unit; IFU) の開発を行っている。この IFU は遠方銀河などの淡く広がった天体の観測を目指して以下のような特徴を有している。1) 反射面に高反射率誘電体多層膜ミラーを採用することで高いスループットを達成している。2) ベストシーイング程度の適度に粗いサンプリングを採用することで、淡く広がった天体への感度向上を狙っている。3) 対象天体と 5.7 分角離れたスカイのスペクトルを天体データと同時に取得することで、スカイ引きの精度が上がると期待される。この IFU の視野は $13.5 \times 9.89 \text{ arcsec}^2$ 、空間サンプリングは 0.43 arcsec 、スライス数は 23 である。スライサー型 IFU では光学素子の数が多く (FOCAS IFU では 69 面のミラー)、その製作手法が技術課題となっている。金属を超精密切削で複数ミラーを一体加工すれば、アライメント調整の手間を省け、かつ高いアライメント精度を達成できる。しかし上述の高反射率誘電体多層膜を切削金属表面に施すと、剥離しやすいという欠点がある。そこで FOCAS IFU ではガラスを研磨加工してスライスミラー等の光学素子を製作することにした。しかしこの場合、個々のミラーを個別に加工し、高い精度で組み合わせる必要がある。光学設計は既に終了し、技術的課題に対しては試作を行い加工可能であることを確認した。これらについては過去の年会で報告済みである。本年会では光学素子ホルダーやベースプレートの詳細設計・製作や FOCAS への組込試験などのプロジェクトの進捗報告を行う。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V205b FITE用信号読み出し回路の改良と遠赤外線センサーの感度測定

大山照平, 芝井広, 佐々木彩奈, 秋山直樹, 中道みのり, 伊藤哲司, 谷貴人, 大塚愛里梨, 住貴宏, 深川美里, 松尾太郎 (大阪大学), 成田正直 (宇宙研/JAXA)

Ge単結晶に少量のGaをドーブした結晶を特定の軸方向に圧縮し、有感波長を長波長側に伸ばした素子である「圧縮型Ge:Ga検出器」は「Spitzer」、「あかり」、「Herschel」といった国内外の様々な観測機器に搭載され、成果を上げている。我々の研究グループではこの圧縮型Ge:Gaを用いて遠赤外線干渉計FITE用に、新たにアレイセンサーを開発した。FITEは気球高度で運用を考えている非冷却望遠鏡であるが、センサーが受ける遠赤外線のはほとんどは望遠鏡や地球大気の熱放射由来、つまり前景放射である。観測対象天体からの放射はこれに比べて5-6桁程度弱いと考えられ、大きな信号を読み取れると同時に細やかな変化をとらえることができる必要がある。このためFITEでは24ビット分解能のA/D変換器を用いて75チャンネル信号取得回路を作成した。24ビットは7桁のダイナミックレンジに相当する。しかしながらこのICは分解能を優先するためにA/D変換スピードに制限がある。この制限近くで動作させてかつ必要なダイナミックレンジを得ることが重要である。我々は制御用のFPGAプログラムと回路を改良することにより、A/D変換サンプリングを約33Hzまで行えるようにした。この際、高速動作によりノイズの増加が懸念されるが、A/D変換前にフィルターを追加するなどの対策を行った。その結果約120dBのダイナミックレンジを達成した。またこれを用いたセンサー感度試験の結果も含めて報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V206b 偏光分光観測による系外惑星水蒸気探査の実現可能性

高橋隼 (兵庫県立大学), 松尾太郎 (大阪大学), 伊藤洋一 (兵庫県立大学)

偏光分光観測による系外惑星の水蒸気探査の実現可能性を見積もったので、その結果を報告する。モデル計算および太陽系内天体の観測により、惑星反射光の可視・近赤外偏光度スペクトルには、大気分子吸収波長において偏光度が増大したフィーチャが現れることが知られる。偏光度は地球大気によって変化を受けないため、系外惑星の偏光分光観測は、地上観測においても水蒸気や酸素分子といった地球と共通する大気成分の検出を可能にするかもしれないという期待がある。

そこで、次世代の超大型地上望遠鏡を用いて、偏光分光観測による系外惑星の水蒸気探査が可能かどうかを見積もった。E-ELT (口径 39m) 向けに開発中の EPICS-IFS と同様の検出コントラストを持つ偏光分光装置を用いて、系外惑星を直接観測することを想定した。以下の3つの誤差を考慮した: (a) 直交する偏光2成分間の信号検出効率の差異による誤差 (器械偏光含む)、(b) 除去しきれないスペックルノイズによる誤差、(c) 光子ノイズによる誤差。既知の惑星に対して上記の誤差量を計算し、偏光度スペクトルに水蒸気吸収波長 $1.12\mu\text{m}$ で偏光度増大量 $\Delta P=10\%$ のフィーチャがある場合、フィーチャを検出できるかを調べた。その結果、少なくとも数個の惑星について検出可能であると分かった。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V207a TMT/MICHI 冷却チョッピングに用いる超伝導ボイスコイルモーターの性能評価

毛利清, 宮田隆志, 上塚貴史, 高橋英則, 酒向重行, 大澤亮, 岡田一志, 内山允史, 山口淳平, 大崎博之, 広江貴 (東京大学), 本田充彦 (久留米大学), 片ざ宏一 (ISAS/JAXA), Chris Packham (UTSA)

地上中間赤外線観測においては空からの背景放射とその変動が大きいと、両方を取り除くためにチョッピングが行われてきた。チョッピングは天体の写る位置を少しずらした写真を短時間内に撮って差し引きし、背景光の変動の影響を受けずに背景光のみを除くものである。これまで望遠鏡の副鏡を傾けることによってチョッピングが行われてきたが、TMT の副鏡は 3.1 m にもなるため、背景光の変動に対して十分速い周波数 (5 Hz 以上) で傾けるのは非常に難しい。代わりに望遠鏡に取り付ける装置内の瞳位置の鏡を傾げることで天体の写る位置をずらす冷却チョッピングという方法が考案されているが、TMT のような大口径望遠鏡で要求されるストローク (≥ 2.5 mm)、周波数 (≥ 5 Hz)、静定時間 (≤ 10 ms)、発熱 (≤ 0.1 W) すべてを達成するものは存在しない。

我々のグループでは、TMT 2 期装置として計画されている中間赤外線観測装置 MICHI に使用できる冷却チョッパーの開発のため、高速駆動かつ精密制御のしやすいボイスコイルモーター (VCM) に着目した。さらに大幅な発熱の軽減を目的としてコイル部分には超伝導線材を使用し、将来的には衛星搭載可能な超低発熱鏡駆動技術の確立を目指している。我々は MICHI チョッパーを想定した超伝導 VCM 実験機の製作を行い、超伝導状態での駆動試験に成功した。駆動特性や発熱は条件によって異なるがモデル計算値と最大 2 倍程度のずれを示した。低温での超伝導線の磁性などがこのずれの原因として考えられており、現在計算モデルの見直しを進めている。

本講演では超伝導 VCM の超伝導試験並びに駆動・発熱評価で得られた結果と、今後の課題について発表する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V208a 飛騨天文台 SMART T1 用 $H\alpha$ 線狭帯域チューナブルフィルターの開発

大辻 賢一, 一本 潔, 木村 剛一, 永田 伸一, 仲谷 善一 (京都大学)

飛騨天文台の SMART T1 では従来、モーター式の回転波長板を用いた Lyot フィルターにて $H\alpha$ 線による太陽彩層の全面像観測を行っていた。しかし彩層ではフィラメント噴出などのダイナミックな活動現象が発生するため、より波長レンジが広く、観測波長点数を多くし、かつケイデンスの高い観測が必要とされていた。しかし、従来の Lyot フィルターでは波長板の回転速度の上限のため、短時間の波長チューニングが不可能であり、波長点数や時間分解能の向上が困難であった。

そこで我々は回転波長板を Meadowlark 社製の液晶可変遅延素子 (LCVR) に置き換えることにより、瞬間的かつ即応的な波長チューニングを可能とする狭帯域チューナブルフィルター (TF40) の開発を行った。このチューナブルフィルターは有効口径 40mm、FSR が 32\AA 、透過幅 0.25\AA であり、内部の方解石等は従来使用していた南京製の 40mm 径 Lyot フィルターを分解して流用した。偏光板には新たにルケオ社製の高透過率偏光板を採用した。

フィルターの作成にあたって、これらの光学素子の特性を評価するため、種々の測定試験を行った。実施した特性評価試験は、キャノン社製の ZYGO 干渉計を用いた波面測定、ルケオ社製の歪検査器を用いた一様性測定、そして飛騨天文台製分光ミューラー行列測定装置 (MMSP) を用いた透過率及び偏光特性測定である。これらの測定から、目的の波長チューニングに必要な液晶への印加電圧を算出するモデルのパラメータ導出を行った。

ブロック組み上げ後の最終試験では、所定の透過幅 0.25\AA が得られていることを確認した。これをもってフィルター完成とし、SMART T1 への取り付けを行い、本年 4 月 26 日にファーストライトを迎えた。これに関しては本年会の石井ほか (太陽セッション) を参考にされたい。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V209a 狭帯域液晶チューナブルフィルター (TF-40) の製作

木村 剛一, 大辻 賢一, 一本 潔, 上野 悟, 永田 伸一, 仲谷 善一, 廣瀬 公美 (京都大学)

太陽大気の速度場や偏光といった物理量を得るために分光観測が必要であり、太陽面で起こるダイナミックな現象の空間的広がりを捉えるためには短時間に取得されるイメージ観測が必要である。我々は両者を組み合わせた分光イメージ観測を実現するべく、高波長分解能で短時間に波長シフトできる「狭帯域液晶チューナブルフィルター」の開発を行い、2015年1月に有効口径32mmのUTF-32(Universal Tunable Filter)を完成させ現在、飛騨天文台ドームレス太陽望遠鏡の観測装置として活用されている。今回、UTF-32の開発・製作ノウハウを用い2号機の製作を2015年8月より手掛け本年2月完成した。その後各種試験を経たのち、直ちに飛騨天文台SMART望遠鏡に搭載され観測に用いられている。この狭帯域チューナブルフィルターはUTF-32と同じく波長制御に液晶可変遅延素子を用い、方解石は新たに購入したものを使用した。UTF-32からの改良点として、(1)軽量化(2)軽量化に伴う部品点数減量による製作期間の短縮化(3)その他UTF-32に於いて起きていた不具合の小改良。を行った。本講演では、TF-40の設計から製作までの一連の過程を報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V210a 突発天体観測用天文台全球リレーのための気象モニターの開発

谷津陽一, 吉井健敏, 針田聖平, 村木雄太郎, 河合誠之 (東工大 理学院), 佐久間 惇一, HyunJin Jung, 井上中順, 篠田浩一 (東工大 情報理工学院), 下川辺隆史 (東工大 学術国際情報センター), 太田佳 (東工大 工学院)

我々はカリフォルニア工科大を中心とした突発天体観測のための天文台全球リレー (Global Relay of Observatories Watching Transients Happen: GROWTH) の開発を行っている。このプロジェクトは重力波源のように、位置決定精度の低い警報に対して、全世界の中小天文台を総動員して光学対応天体の位置決定・観測を目指している。GRB の追跡観測システムと決定的に異なる点は、探索範囲が桁違いに広いために、単独の望遠鏡では対応が難しい点であり、世界中に散らばった複数の天文台を使って手分けして搜索を行うところである。当然、追観測には迅速性が要求されるため、その指揮システムは完全に自動化する。この指揮システムを開発するにあたって、特に南・東アジア地域の観測所には「天候」という不確定要因があり、限られたチャンスを活かしてミスショットを減らすことが GROWTH を実現する上できわめて重要となる。

そこで我々は、MITSuME 明野観測所に設置された全天監視モニターのデータを、近年脚光を浴びている深層学習 (Deep Learning) の手法で解析し、晴天域・曇天域等の可視性を自動で検出する研究を開始した。2015 年に取得された全天モニターの夜間の画像 1000 枚を無作為に抽出し、晴天域・雲・薄雲・月・水滴・異常物の 6 つのクラス情報を付与して教師データとし、画像認識実験を実施した。本講演では、この初期成果と大学本館屋上に設置した、テストベンチとの統合実験について述べる。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V211a 地球型系外惑星大気分光に向けた高安定分光器の基礎研究

伊藤哲司, 松尾太郎, 芝井 広, 住 貴宏 (大阪大)

近い将来、Transit Exoplanet Survey Satellite (TESS)、Planetary Transits and Oscillations of stars (PLATO) による、近傍恒星周りの惑星探査により、観測可能な生命居住可能惑星候補の数は、数個～数十個に増加すると見込まれる。したがって、生命居住可能惑星候補の大気分光を行い、生命居住可能性を議論する上で必須となる、大気組成や雲の性質を用いた地球型惑星の特徴づけが重要になる。特に中間赤外線帯域での地球型惑星大気分光では、生命居住可能性との関係が深い、水蒸気、メタン、オゾン、二酸化炭素の検出が可能である。中間赤外線帯域での地球型惑星大気分光に関して、最も有力な手法である1次蝕透過分光は、蝕の深さ(減光率)を数時間にわたって、10万分の1程度(晩期型星周りの場合)の精度で測り続ける測光安定性を必要とするが、従来の汎用の分光器では、望遠鏡の指向誤差に伴う星像の移動と検出器の感度ムラ補正の系統誤差が合わさる影響等により、要求を満たすことができない。そこで、我々は、指向誤差等によらない高安定な分光測光に向けて、望遠鏡主鏡上の光強度分布は指向誤差があっても不変であることに注目した、望遠鏡主鏡に相当する部分を分割縮小して分光検出する手法を、次世代の宇宙望遠鏡への搭載を想定して提案する。その手法とは、分割した主鏡に相当する部分を小さく縮小すると、その後の光が回折によって広がるので、この縮小した主鏡に相当する部分を点像に見立て、あたかも従来の分光器に点像を入射させるのと同様に入射させると主鏡に相当する部分の分光が可能だということであり、我々はこれを理論的に定式化するとともに、この高安定分光法の実現性を、可視光での模擬実験で実証した。本講演では、本方式についての詳細な議論を行うとともに、可視光での模擬実験結果についても報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V212a ぐんま天文台 150cm 望遠鏡による静止衛星観測の試み

橋本修 (ぐんま天文台), 衣笠健三 (国立天文台野辺山宇宙電波観測所), 高根澤隆 (三菱電機)

安定した宇宙空間の利用のため、人工衛星の地上からの検知や識別を行うことが、近年では強く求められるようになってきている。基礎的な手法を検討するための試みとして、ぐんま天文台の 150cm 望遠鏡を用いた静止衛星「ひまわり 6号」と「ひまわり 8号」の測光と分光観測を行った。高速で移動する人工衛星の観測には、天体観測用の望遠鏡は一般的に不向きであるが、地球の自転と同期する静止衛星は見掛けの動きが小さく、高精度の経緯台式架台を用いることによって指向することが例外的に可能である。

測光観測では、太陽との位置関係に由来するゆるやかな明るさの変化に加え、数分単位のタイムスケールでの微小な変化が観測され、特に青い波長域での変動が顕著になっている。また、色指数は光源である太陽よりも赤く、人工衛星の機体が赤みを帯びた色をしていることが示されている。分光データには、太陽に由来するもの以外の分光的な特徴は特に見られなかったが、連続波成分に由来する大局的な波長分布には、人工衛星毎に異なる緩やかな構造があり、時間とともに変化していることが見出された。連続波による大局的な波長分布の変化は、測光値の変化や色指数の傾向に反映されるものであり、測光観測から得られた時間変化や赤みを帯びた反射特性と一致する。

このような観測的な特性から、人工衛星の識別には、分光観測よりも、複数の波長における同時測光観測がより効果的であると考えられる。同じ規模の望遠鏡を用いても、分光観測に比べてより暗く小さな人工天体まで補足、識別することが可能であり、望遠鏡の追尾に要求される性能もより緩やかなものになるところも見逃せない利点である。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V213a TMT 計画 – 進捗報告

白田知史, 家正則, 青木和光, チャップマン純子, 神津昭仁, 山下卓也, 柏川伸成, 宮下隆明 他 (国立天文台 TMT 推進室), Henry Yang, Edward Stone, Gary Sanders, Suijian Xue, Eswar Reddy, Gregory Fahlman 他 (TIO)

TMT は日本が国際協力で実現を目指している次世代の地上超大型 30m 望遠鏡である。TMT 国際天文台 (TIO) は 2015 年 4 月よりハワイマウナケア山頂域での建設作業を本格的に進める予定であったが、同年 12 月 2 日、ハワイ州最高裁判所が TMT 計画のための保護地区利用許可の承認を差し戻す判決を出したことにより、現地工事は中断し、現在、保護地区利用許可の再審査手続きが進められている。この手続きの重要なプロセスとして開催される一般公聴会において、聴き取った意見のとりまとめを行う審査官が選出され、5 月に第一回目の準備会合が開催された。TIO としては 2017 年春に保護地区利用許可の再認可を得、準備期間を経て 2018 年 4 月より現地工事再開を目指して準備を進めている。TIO および国立天文台としてはハワイでの建設を第一に目指す方針に変わりはなく、ハワイの地元の方々の理解と協力を得る努力を続けているが、万一許可が得られないなど、ハワイでの建設が不可能になった場合に備え、他の候補地での建設の可能性の検討も行っている (詳しくは家の講演)。

国内の TMT 計画の進捗状況としては、望遠鏡本体構造および制御系の詳細設計、第一期観測装置 (IRIS, WFOS) の設計・検討作業を進めている。主鏡の量産 (鏡材製作、研削・研磨) では、主鏡材の製造が累計で 160 枚を超え、82 種類の内 1 つのタイプ 4 の非球面研磨を完了した。また、全国各地での一般講演会や、TMT の可動式模型や主鏡分割鏡の試作品を用いた展示、完成予想動画の作成とウェブ公開などの広報普及活動を行なっている。

本講演では、TMT プロジェクトの現状と今後の展望について報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V214a TMT 計画：ハワイ建設許可状況とバックアップサイト選定

家正則、白田知史、ほか TMT 推進室（国立天文台）、Henry Yang（カリフォルニア大学）、Edward Stone, Gary Sanders 他（TMT 国際天文台）、TMT 国際天文台評議員会

2015年12月ハワイ州最高裁は、ハワイ州土地天然資源局 BLNR が2011年に認可したマウナケア山頂域の TMT 建設のための保護地区利用許可 CDUP の審理手続きに瑕疵があったとして、再審理を命じた。TMT 国際天文台としては、大変遺憾な事態となったが、再取得手続きを進めている。2017年前半に CDUP を再取得できると想定しており、その後、山頂工事再開準備を進め、2018年4月から山頂工事を本格化することを期している。

TMT 国際天文台は、5月の評議員会で、マウナケアでの建設を目指すことを再確認したが、万が一ハワイでの建設が困難になるという事態になった場合に備えて、ハワイ以外の建設候補地の調査を平行して行うことを了承した。検討対象の候補地は順不同で La Palma (Spain 2250m)、San Pedro Martir (Mexico, 2830m)、Ali (China, 5000m)、Hanle (India, 4500m)、Honar (Chile, 5350m) と MacKenna (Chile, 3100m) である。選定の観点としては、天文観測条件、受け入れ側の意向、使用許可手続き、建設コスト、などが考えられる。2016年10月の評議員会には日本以外のパートナーがハワイ以外の建設候補地について意向表明を行う可能性がある。ハワイでの利用許可審議の状況が改善しない場合に、マウナケア山頂域での TMT 建設を断念する条件や、その決断時期については、TMT 国際天文台評議員会にて引き続き協議し、全パートナーの合意の上で決定することとなる。日本としてはハワイでの建設を最優先する立場に変わりはないが、ハワイ以外の建設候補地について、日本の立場を明確にするために、学界との議論の機会を設け、意見をとりまとめる予定である。

本講演では、本件についての最新状況を報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V215a 明るい星専用赤外線望遠鏡 IR-TMT

花上拓海(東北大学), 筒井寛典, 柳澤顕史, 清水康廣, 泉浦秀行(国立天文台), 市川隆, 小宮山貴洋, 小野里宏樹, 岩松篤史 板由房(東北大学)

近傍の明るい星は Gaia, Nano-JASMINE 等による距離測定や、分光、偏光といった様々な方法を適用できる重要な観測対象である。中でも最も基礎的な方法が測光観測である。特に赤外線域は可視域に比べて星間減光の影響が約 1/10 と小さく、近傍星は減光を無視できるため、星の真の明るさや色を容易に導くことができる。しかし、2MASS の近赤外線観測では 5 等より明るい星を境に、測光誤差が 15%以上と大きくなっているのが問題である。

IR-TMT(InfraRed - Thirty Millimeter Telescope) は東北大学が開発した 6 等より明るい星にターゲットを絞った近赤外線撮像装置であり、岡山天体物理観測所構内の 4m ドームに収められた全計算機制御の赤道儀式架台に搭載される予定である。岡山天体物理観測所から観測可能な赤緯-30 度以上の星のうち、6 等より明るい星は約 12 万個あり、これらの星について数%の精度で測光観測を行う計画である。IR-TMT では、主要テーマの一つとして「近赤外線での明るい星のカタログ作成」を掲げている。

本装置は波長 1.17-2.29 μm で 3 種のフィルター J, H, K' を使って測光観測を行う。口径 30mm、視野が約 25 平方度という特徴を持っている。この広視野を活かすことで効率よくサーベイ観測を行うことができる。また、専用望遠鏡としての豊富な観測時間を利用し、変光天体のモニター観測を行うことも可能である。

昨年、東北大学にて行われた撮像試験の結果、最短露出時間(5 秒)での 20σ 限界等級が 6 等であることがわかり、設計仕様を満たしていることが確認された。現在は観測地にて、観測運用に向けた動作試験ならびに観測システムの整備を進めている。本講演では 2016 年 9 月現在の進捗状況と今後の展望について報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V216b HSC 戦略枠観測のデータリリース状況

池田浩之, 古澤久徳, 高田唯史, 田中賢幸, 山田善彦, 小池美知太郎, 峯尾聡吾, 林裕輔, 大石晋恵, 宮崎聡, 岩田生 (国立天文台), 安田直樹 (Kavli IPMU), 他 HSC 戦略枠チーム

国立天文台では、東京大学 国際高等研究所 カブリ数物連携宇宙研究機構など多数の国内研究機関やプリンストン大学及び台湾と共同で、すばる望遠鏡に搭載されている超広視野主焦点カメラ Hyper Suprime-Cam (HSC) の戦略枠観測 (SSP: Subaru Strategic Program) を2014年3月より行っている。このSSPでは、5年間で合計約300晩を費やすことで、Wide、Deep、Ultra Deep Surveyの3種類のLayerで、それぞれ1400平方度、28平方度、3.5平方度の多色測光データ (g -, r -, i -, z -, y -band, Deep, UDeep は加えて narrow-bands) の取得を行う予定である。

g, r, i, z, y の5バンド全てのデータが目的の深さに到達していてデータ解析が完了している領域は2015年11月までのデータで既に約100平方度もあり、世界最先端の研究成果を上げることのできるデータが揃っている。解析済みの画像や天体カタログはデータベースに登録されており、研究者ユーザはSQL (Structured Query Language) を用いることで種々の高度な条件で天体情報を検索し研究活動を行うことが出来る。

我々はこれまでに4度、共同研究者コミュニティに解析済みの画像や天体カタログを公開してきた。さらに2016年1月から4月に新たにデータが取得され、これらを解析すると、約170平方度のデータが揃う予定である。今後は新たに取得されたデータの解析済み画像や天体カタログも公開する予定である。本講演では2016年4月までに取得されたデータの概要などについて報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V217b HSC 画像からの自動ゴースト除去

小宮山裕, 八木雅文 (国立天文台)

多くの観測装置に見られるように、すばる望遠鏡超広視野 CCD カメラ (Hyper Suprime-Cam; HSC) にも光学系に起因するゴーストが発生することが知られている。広視野補正光学系に由来するゴーストのうち焦点面上で最も輝度が高くなるものはフィルターで反射した光が広視野補正光学系第4レンズで再び反射されて焦点面上に到達するものである。この「くらげ」状に広がったゴーストは画像上で最大4分角(1400ピクセル)程度に広がっており、特に淡い部分はディザリングした画像を合成した際にも完全に消し去ることは難しく、低表面輝度天体の検出・測光などに及ぼす影響が大きい。さらに HSC のデータ量は膨大であるため、手作業でマスクしていくことは事実上困難である。このため、ゴーストを自動的に推定し、適切な方法で除去する手法の開発が待たれている。

そこで本研究では HSC の現実的光学設計モデルを使った光線追跡を行い、望遠鏡の指向座標とゴースト源となる星の座標からゴーストの出現位置とその大きさを求める手法を検討した。ゴーストの出現位置と形状・大きさはフィルターの実位置や実厚さを取り入れることで良く再現できることが分かった。本来は光学設計モデルから求めたゴースト形状を画像として差し引きたいところであるが、望遠鏡のス파이ダーや主焦点部の構造による遮蔽などのためゴーストの形状は必ずしも単純でない。そのため、本研究では合成前の個別画像についてゴーストがかぶっている領域をマスクすることにより最終合成画像からゴーストを除去するという手法を採っている。

本発表では具体的な方法論、実画像への適用について発表する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V218b すばる望遠鏡 HSC pipeline ヘルプデスク開設とその取り組み

大石晋恵、田中賢幸、古澤久徳、高田唯史、峯尾聡吾、小池美知太郎、山田善彦、池田浩之、林裕輔、岩田生、宮崎聡 (国立天文台)、百瀬莉恵子 (国立清華大学)、他 HSC pipeline 開発チーム一同

すばる望遠鏡 Hyper Suprime-Cam (HSC) は 104 枚のサイエンス CCD から成る、直径 1.5° という広い視野を持つ主焦点カメラであり、2014 年から一般共同利用が開始された。HSC データ解析用ソフトウェアとして、国立天文台、Princeton 大学、東京大学カブリ数物連携宇宙研究機構は共同で HSC pipeline を開発した。HSC pipeline は主に C++ と python によって書かれた LSST (Large Synoptic Survey Telescope) 用解析 pipeline のフレームワークをベースに、HSC 固有の解析処理・パラメータを組み込んだソフトウェアである。

昨年度より HSC pipeline 解析マニュアルが公開され、一般共同利用ユーザー向けにヘルプデスクも開設されている。マニュアルページは HSC の概要、pipeline のバイナリパッケージの配布とそのインストール方法、解析チュートリアル、pipeline の実行に必要な環境、解析の Tips、問い合わせ件数が多かった問題についての FAQ から成り、随時更新している。ヘルプデスクへの問い合わせに関しては、マニュアルページにメールフォーマットを用意し、問題解決までの時間をできるだけ削減できるよう配慮した。さらに、国立天文台では pipeline 実行環境がない一般共同利用ユーザー向けの解析マシン (32 コア, 256 GB メモリ, 36 TB 作業ディスク) も整備し、充実した解析環境を提供するに至っている。

本講演では pipeline マニュアルの詳細、Tips や FAQ の紹介の他、開発側へのフィードバックも含めた今後の取り組みについても紹介する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V219b チベットロボット三色撮像カメラ (HinOTORI) : 輸送と建設

内海 洋輔, 吉田 道利, 川端 弘治 (広島大学宇宙科学センター), 川野元 聡, 成相 恭二, 佐々木 敏由紀, 柳澤 顕史 (国立天文台), 姚 永強, Wang Hongshuai (中国国家天文台), 劉 彩品 (中国紫金山天文台), 谷津 陽一, 齊藤 嘉彦 (東京工業大学)

重力波源の正体を探るために可視光対応天体の全地球的な可視光フォローアップ観測網構築が望まれている。我々は極東地域での観測ネットワーク強化をめざし、日本から経度 60 度離れた中国西部チベット阿里地区に 50cm 望遠鏡と SDSS u, Cousins-Rc, Ic バンドを有する三色同時撮像カメラを設置する HinOTORI (Hiroshima University Operated Tibet Optical Robotic Imager) プロジェクトを推進している。

これまでに望遠鏡・装置・カメラ・赤道儀の各コンポーネントは東広島天文台にて性能試験を実施し、その結果を発表してきた (2015 年春季年会 V229b)。2015 年 10 月に東広島天文台から出荷し、木箱梱包作業を行い、輸送業者の倉庫にて保管し、中国側輸入手続き完了に備えた。2015 年 12 月に中国側税関での輸入手続きが完了し、2016 年 2 月に広島港よりコンテナ船によって物資を収納したコンテナを出荷した。青島港で荷物を積み下ろし、トラックによる陸送で拉薩を経由して最終的に 2016 年 4 月に物資が中国国家天文台阿里観測所に到着した。受け入れ時の初期検査では目立ったダメージは認められず、物資の輸送は完了した。現在は現地における建設作業を目指し準備行っている。本稿では最新の HinOTORI プロジェクトの進捗について報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V220b

木曾超広視野高速 CMOS カメラ Tomo-e Gozen 実機の開発 - 基本設計

酒向重行, 大澤亮, 高橋英則, 一木真, 土居守, 小林尚人, 本原顕太郎, 宮田隆志, 諸隈智貴, 小久保充, 満田和真, 谷口由貴, 青木勉, 征矢野隆夫, 樽沢賢一, 猿楽祐樹, 森 由貴, 三戸洋之, 中田好一, 戸谷友則, 松永典之, 茂山俊和, 谷川衝 (東京大学), 臼井文彦 (神戸大学), 渡部潤一, 田中雅臣, 前原裕之, 有松巨, (国立天文台), 吉川真 (ISAS/JAXA), 富永望 (甲南大学), 板由房, 小野里宏樹 (東北大学), 春日敏測 (千葉工業大学), 奥村真一郎, 浦川聖太郎 (日本スペースガード協会), 佐藤幹哉 (かわさき宙と緑の科学館), 河北秀世 (京都産業大学), 池田思朗, 森井幹雄 (統計数理研究所)

Tomo-e Gozen は 84 台の CMOS センサにより 20 平方度を最速 2Hz で観測できる木曾 105cm シュミット望遠鏡用の超広視野高速カメラである。本装置は 2010 年に高感度 CMOS センサの開発に着手したことに始まり, 概念設計, 主要部の室内実験を経て, 2015 年 11 月にセンサを 8 台搭載した Tomo-e Gozen 試験機のファーストライト観測に成功した。今後, 試験機の開発によって得た技術と経験を基に, センサを 84 台搭載する Tomo-e Gozen 実機の開発へと進む。本講演では, Tomo-e Gozen 実機の基本設計と 2017 年度の完成に向けた開発計画について述べる。Tomo-e Gozen 実機のカメラ部は, 開発・運用のリスク分散と望遠鏡への搭載の簡易化を考慮して, 同じ設計からなる 4 機のカメラに分割する。各カメラは 21 台の CMOS センサを搭載し, 単独駆動と 4 機の同期駆動が可能な設計とする。試験機と同様に, センサは常温常圧の筐体内に球面上に配置され, 空冷により外気との温度差が 5 以内に維持される。フィルタは筐体の入射窓と兼用し, 84 枚に分割して搭載する。一方, データ通信部の光デジタル方式への変更, GPS 時刻の導入, センサ読み出し回路の省電力化, 省スペース化といった改善を行う。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V221b

木曾超広視野高速 CMOS カメラ Tomo-e Gozen 試験機による高頻度測光の評価

一木真, 酒向重行, 大澤亮, 高橋英則, 土居守, 小林尚人, 本原顕太郎, 宮田隆志, 諸隈智貴, 小久保充, 満田和真, 谷口由貴, 山口淳平, 毛利清, 大澤健太郎, 青木勉, 征矢野隆夫, 樽沢賢一, 猿楽祐樹, 森 由貴, 三戸洋之, 中田好一, 戸谷友則, 松永典之, 茂山俊和, 谷川衝 (東京大学), 臼井文彦 (神戸大学), 渡部潤一, 田中雅臣, 前原裕之, 有松亘 (国立天文台), 吉川真 (ISAS/JAXA), 富永望 (甲南大学), 板由房, 小野里宏樹 (東北大学), 春日敏測 (千葉工業大学), 奥村真一郎, 浦川聖太郎 (日本スペースガード協会), 佐藤幹哉 (かわさき宙と緑の科学館), 河北秀世 (京都産業大学), 池田思朗, 森井幹雄 (統計数理研究所)

超広視野高速 CMOS カメラ Tomo-e Gozen は 84 枚の CMOS センサを用いることで 20deg^2 の視野を 2 Hz で連続撮像できる。このサンプルレートで広視野観測が可能な可視光装置は過去に無く、速い変動を示す突発天体や変光天体の探査を飛躍的に進めることができる。2015 年 11 月には、8 枚の CMOS センサを搭載した Tomo-e Gozen 試験機が完成し、東京大学木曾観測所にて試験観測が実施された。多数の星を測光解析して大気変動の視野内での相関を調べたところ、2 Hz の頻度では 6 分角より離れると大気変動の相関が悪化したが、0.5 Hz の頻度では 1 センサの視野内 (最大角距離 35 分角) に渡って大気変動の相関の角距離依存性が見られなかった。また、0.5 秒から 500 秒までの各時間スケールで測光値の安定性を評価したところ、 $V_{\text{mag}} < 14$ の星に対する測光精度は、時間スケール 5 秒以下で 0.4%-3%、100 秒以上で 0.1%-0.3% を達成していることが確認された。本講演では高頻度測光データの評価の中で見つかった、ブレーザーや δ -Sct 型変光星候補の数時間スケールの変動についても報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V222a

木曾超広視野高速 CMOS カメラ Tomo-e Gozen 試験機の機械系の開発

高橋 英則, 酒向 重行, 大澤 亮, 一木 真, 土居 守, 小林 尚人, 本原 顕太郎, 宮田 隆志, 諸隈 智貴, 小久保 充, 満田 和真, 谷口 由貴, 山口 淳平, 毛利 清, 大澤 健太郎, 青木 勉, 征矢野 隆夫, 樽沢 賢一, 猿楽 祐樹, 森 由貴, 三戸 洋之, 中田 好一, 戸谷 友則, 松永 典之, 茂山 俊和, 谷川 衝 (東京大学), 臼井 文彦 (神戸大学), 渡部 潤一, 田中 雅臣, 前原 裕之, 有松 巨, (国立天文台), 吉川 真 (ISAS/JAXA), 富永 望 (甲南大学), 板 由房, 小野里 宏樹 (東北大学), 春日 敏測 (千葉工業大学), 奥村 真一郎, 浦川 聖太郎 (日本スペースガード協会), 佐藤 幹哉 (かわさき宙と緑の科学館), 河北 秀世 (京都産業大学), 池田 思朗, 森井 幹雄 (統計数理研究所)

超広視野高速 CMOS カメラ Tomo-e Gozen は 84 個の CMOS センサを持ち、木曾観測所 105cm シュミット望遠鏡への搭載時は 20deg^2 の超広視視野を実現する。その試験機 (PM) は CMOS センサが 8 個とフルサイズより少ないが、技術実証機という位置付けのため筐体は出来るだけフルサイズに継承される形状・思想の元で設計・製作された。ベースプレートは 50 個のセンサが仮配置される形状となっている。ベースプレート自身や筐体の枠へのクランプによる形状の歪みや、センサがシュミット望遠鏡特有の球面 (曲率半径 $R=3,300\text{mm}$) に沿って配置される必要があるため、最終的なセンサ面が光学的に最適になるようにセンサ高さ調整用治具 (HAP: Height Adjustment Plate) で調整される。この固定 (接着) には熱伝導型両面接着テープを用いることで確実に固定される他、HAP への廃熱および容易な交換作業を実現できる。センサの受光部の厚みを考慮すると、許容される被写界深度は $40\mu\text{m}$ 程度であるが、観測時の画像解析の結果から、これ以下の精度で製作・調整できていることが確認された。講演では PM での機械加工や組付け、ハンドリングなどを受けてのフルサイズへの拡張案も紹介する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V223a 近赤外線観測装置 SWIMS の低温結像性能評価

大橋宗史, 本原顕太郎, 小西真広, 高橋英則, 加藤夏子, 北川祐太郎, 小早川大, 寺尾恭範 (東京大学), 山室智康 (オプトクラフト)

我々が開発している TAO6.5 m 望遠鏡の第 1 期近赤外線観測装置 SWIMS は波長 0.9-2.5 μm において、2 色同時広視野撮像と、波長分解能 $R \sim 1000$ の多天体同時分光または広視野面分光という 2 つの特長を有する。SWIMS は屈折系で再結像光学系を組んでおり、その全長は 1470mm である。近赤外線の装置であるため、光学系全体を 100K 以下に冷却することでカメラ本体からの黒体放射を抑える必要がある。光学系はその温度が 65K に最適化されて設計しているが、実際に製造を行い、組み立て冷却試験を行った結果、熱流入量が設計値より大きく、光学系の最低到達温度が 100K 程度となることが明らかになった。

実際にピンホールを用いた冷却結像試験を 100K で行ったところ、結像位置が 0.6mm ずれていることが分かった。そこで光学系の温度変化を考慮した上で光線追跡を 65K~110K でシミュレートしたところ、結像位置が 0.03mm/K で変化するという結果が得られ、100K での結像位置のずれを説明することができた。

本研究では、光線追跡による SWIMS 光学系の焦点位置の温度依存性の評価と、実際に 90K~110K で結像試験を行って結像位置の温度変化および結像性能を検証した結果を報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V224b HONIR用新検出器読み出しシステムのノイズ改善に向けた研究

森裕樹（広島大学）、宇井崇紘、川端弘治、吉田道利、深沢泰司（広島大学）、酒向重行（東京大学）、伊藤亮介（東京工業大学）

我々は、広島大学 1.5m かなた望遠鏡の主力観測装置である可視赤外線同時カメラ HONIR の近赤外線検出器 VIRGO-2K(Raytheon 社) の新読み出しシステムの開発を進めている。本システムは汎用 CCD 読み出しシステム KAC をベースに、VIRGO の 16ch 高速読み出しを実現する設計となっている。実験室における試験ではノイズ値 $20\text{-}30e^-$ での読み出しに成功していたが、東広島天文台 1.5m かなた望遠鏡に装着すると正常に動作しないという問題があった。

2015 年 10 月から 2016 年 1 月にかけて、実験室および望遠鏡装着時での本システムの初の総合的な動作試験を行った。主たる目的は、実験室系における各種性能の確認、望遠鏡装着時の動作不良原因の特定・解決、望遠鏡装着時における VIRGO の読み出しを行いその性能を評価することである。その結果、実験室系においては所期の性能を有することを再確認できた。望遠鏡装着時の動作不良については、読み出しボードと PC とのグラウンドの電圧差による通信障害が主たる原因であることが判明し、解決に至った。さらに、望遠鏡装着状態にある VIRGO (75K に冷却) の読み出しを行い 16ch モードで異常なく読み出せることを確認し、(i) バイアス電圧の変化に伴うと考えられる補正可能な低周波ノイズ ($100\text{-}150e^-$)、(ii) 補正が困難であるが許容レベル内の高周波ノイズ ($\sim 30e^-$)、(iii) 電流供給バスラインの脆弱性が一因と考えられる VIRGO のホットピクセルに付随したスパイク状のノイズの 3 種類のノイズ成分が存在することを見出した。本講演では、これらのノイズの性質とその対策について詳しく述べる。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V225b 近赤外線 2 色同時多天体分光撮像装置 SWIMS の検出器性能評価

寺尾恭範, 本原顕太郎, 小西真広, 高橋英則, 加藤夏子, 北川祐太郎, 大橋宗史 (東京大学)

我々が開発している TAO6.5 m 望遠鏡の第 1 期近赤外線観測装置 SWIMS は、波長 0.9–2.5 μm の光をダイクロミックミラーによって短波長側 (0.9–1.4 μm) と長波長側 (1.4–2.5 μm) に分割して同時に検出するという特長をもつ。短波長側、長波長側それぞれのアームの焦点面には Teledyne Imaging Sensors 社の HAWAII-2RG 検出器をそれぞれ 4 台ずつの計 8 台 (現時点では 2 台ずつの計 4 台) 搭載し、 $\phi 9'.6$ (TAO6.5 m 望遠鏡搭載時) の広視野を実現する。HAWAII-2RG の駆動と読み出しには SIDECAR ASIC と専用ボードである JADE2 Card を用い、HAWAII-2RG と ASIC は真空下で ~ 80 K まで冷却して駆動する。JADE2 Card は真空常温下で使用し、USB ケーブルにより検出器制御用 PC 上で起動した HAWAII-2RG 駆動用ソフトウェアから制御される。SIDECAR ASIC と JADE2 Card は我々が設計した全長 1.7 m のフラットケーブルで接続され、AD 変換された信号の送信や ASIC への電源供給などが行われる。

SWIMS の検出器読み出しノイズに対する要求性能は $14 e^-$ r.m.s. 以下というものである。これまでに得られた HAWAII-2RG 単独駆動時のノイズは $\sim 19 e^-$ r.m.s. であるが、マルチサンプリングでこの要求を満たすことができる。しかしながら、HAWAII-2RG を複数台同時に駆動した場合、上述のフラットケーブル間の干渉により単体駆動時よりもノイズが 3 倍以上増加することが明らかになった。この問題は、ケーブルにシールド加工を施すことで大幅に改善し、 $\sim 30 e^-$ r.m.s. となった。本講演では、新たに設計・製作したシールド付きフラットケーブルとマルチサンプリングを用いることによる読み出しノイズ改善状況と、各種 SIDECAR ASIC パラメータの最適化の結果について報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V226b

nuMOIRCS Project 2: Final Imaging and Spectroscopic Performance

田中崚 (Subaru Telescope), Maximilian Fabricius (MPE), Josh Walawender (Keck Telescope), 橋場康人 (Mitsubishi Electric), 岩田生, 西村徹朗, 小俣孝司, 有本信雄 (Subaru Telescope), Yen-Sang Hu, Shiang-Yu Wang (ASIAA), Mark Weber, David Cook, Philip Tait 他、 Instrument Division in Subaru Telescope

”nuMOIRCS Project”は、すばる望遠鏡の近赤外多天体撮像分光装置である「MOIRCS」のアップグレードプロジェクトで、ハワイ観測所の ”インハウス ”プロジェクトとして、装置部門のリーダーシップの元で鋭意進行中である。その第一弾として、我々は2015年に検出器を最新のHawaii2 RG アレイに寄せ換えた。その作業及び最初のオンスカイトテストの速報については、2016年春季年会 V215b にて報告させて頂いた。

今回はその続きとして、4月～6月に行われた機能試験及び性能試験観測の結果について報告する。2015年12月の最初のオンスカイトテストにおいて重大な問題となっていた、ARコート面からの 粒子の問題は、3月に設置したブロックフィルタにより100%除去されている事が確認された。最終的な撮像システム効率率は30%(Yバンド)から42%(Hバンド)で、特にH2RGで大幅に向上した青側の感度の向上(最大27%の向上)が著しい。又、分光観測におけるシステムスループットも向上し、低分散グリズムにおいては、YJバンド帯で26-33%、HKバンド帯でも25-31%程度になった。感度の高いVPHグリズムにおいては、各バンド帯で最大30-35%の効率となり、劇的に減少した読み出しノイズとも相まって、再び競争力のある装置に生まれ変わったと我々は自負している。ポスターでは、6月の試験観測で得られるであろういくつかのデモ的な成果も含め、紹介する予定である。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V227a 京大岡山 3.8m 望遠鏡に搭載する分割主鏡制御システム

木野勝 (京都大学), 京大岡山 3.8m 望遠鏡計画グループ

京大岡山 3.8m 望遠鏡は 18 枚の分割主鏡を搭載する。分割鏡では鏡の加工・輸送が容易になる反面、各鏡面の位置・傾きを \leq 数 10nm の高い精度で保持することが要求される。望遠鏡の架台は指向方向による重力変形、観測環境の温度変化・風圧などの外乱により $\sim 100 \mu\text{m}$ の変形が見込まれており、これを補正するフィードバック制御システムが不可欠である。

分割鏡間の相対位置を測定する計 144 個の変位センサからの出力を読み取り、最適な補正値を導出した後、57 個のリニアアクチュエータへ指令を送る制御システムを構築した。変位センサ・アクチュエータおよび付随する回路は直径 3.8m の主鏡の裏側に分散配置され、Ethernet を通して制御 PC に接続される。センサ値の読み出しからアクチュエータの動作開始までに要する時間は $\sim 1\text{ms}$ であり、センサの測定時間 4ms と合わせて毎秒 200 回のフィードバックが可能である。

ダミーの分割鏡 2 枚と上記制御システムを用いて分割鏡制御の部分モデルを組み上げ、動的な駆動特性を測定した。分割鏡の剛体運動モード (光軸方向への並進、および傾斜 2 軸) に対応する顕著な共振が見られたことから、運動モード毎に最適化されたフィルタを組み込んだ制御プログラムを構築している。測定された最も低い共振周波数は $\sim 30\text{Hz}$ であることから、当初目標としていた $\geq 10\text{Hz}$ よりも高い制御帯域の達成が見込まれる。

本講演では分割鏡制御システムの詳細と駆動試験の結果に加え、3.8m 望遠鏡の現状についても併せて報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V228a 京都大学飛騨天文台 SMART 太陽全面像高速撮像装置のハード設計・製作

仲谷善一, 金田直樹, 一本潔, 永田伸一, 木村剛一 (京都大学・理・天文台)

京都大学飛騨天文台では、太陽磁場活動望遠鏡 (SMART) を用いて、H-alpha および高精度ベクトル磁場観測を行っている。この SMART は 4 連の屈折望遠鏡 (口径 20cm × 2、口径 25cm × 2) で、このうち T1 と呼んでいる H-alpha 太陽全面像 20cm 望遠鏡を高速撮像望遠鏡へと改造を行ったので報告する。

改造前の仕様は、メカニカルシャッターカメラで約 4000 × 4000 pix (36 × 36 mm) と受光素子面積が大きく、高時間分解能での観測には不向きであったことから、約 2000 × 2000 pix (約 13 × 13 mm)、100 f/s での撮像が可能なカメラへと置き換えを行った。

カメラのチップサイズが小さくなるということで、イメージングレンズの焦点距離を変更する必要があり、製作のための時間やコストを考えて民生品を使用することにした。その際、結像性能が旧光学系と同等または改善するよう光学設計および評価を行い、各種ホルダー類に関しても FEM 解析や固有値解析を行いながら、強度とコストのバランスが良いよう設計を行い、製作を行った。

SMART への新光学系のインストールを完了し、定常観測を行っている。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V229c 可視偏光撮像観測装置 iPol の開発

楠根貴成、杉谷光司（名古屋市立大学）、佐藤修二（名古屋大学）、永山貴宏（鹿児島大学）、渡邊誠（岡山理科大学）

現在我々は星間磁場を可視光波長域で広くサーベイすることを目的に、 i' バンド ($0.76\mu\text{m}$) の偏光撮像観測装置 iPol を開発中である。検出器には $4\text{k}\times 4\text{k}$ の CCD ($9\mu\text{m}/\text{pix}$) を用い、ワイヤグリッド・ $1/2$ 波長板を搭載している。現在の計画では、将来的に南アフリカ天文台 1m 望遠鏡に取り付け、既に運用中である同天文台 IRSF1.4m 望遠鏡の JHK_s 近赤外線偏光撮像観測装置 SIRPOL と連携して観測する予定である。分子雲の比較的密度の高い領域では SIRPOL を、分子雲周辺の比較的密度の低い領域では iPol を用いて観測することで、広範囲にわたる星間磁場構造を得ることが可能となる。

南アフリカ天文台に持って行く前の観測装置の性能試験として、名古屋市立科学館の協力のもと iPol を名古屋市立科学館 80cm 望遠鏡 ($f/10$) に取り付け 2016 年 2 月にテスト観測を行った (視野 $\sim 15'$)。今回の試験観測では無偏光標準星・強い偏光標準星・反射星雲 R Mon を観測し、装置として正常に機能していることが確認できた。今後 F 変換レンズを作成し南アフリカ天文台 1m 望遠鏡に取り付けて今年度中の試験観測を目指す。本講演では装置の概要および名古屋市立科学館での試験観測結果の詳細を報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V230a 26cm 口径可視光望遠鏡によるフレア観測に向けた自動観測システムの構築

山田宗次郎, 坪井陽子 (中央大学), 飯塚亮, 菅原泰晴 (ISAS/JAXA), 三宅梢子 (中央大学)

当研究室では、2009年8月から全天 X 線監視装置 MAXI を用いて、恒星からの巨大 X 線フレアを探索している。MAXI で検出される X 線フレアは星として最大規模のものばかりであるが、可視光帯域まで含めたフレア規模は観測データがないためわかっていない。我々は可視光からフレアのメカニズムを探るため、2012年度に後樂園キャンパス 6 号館屋上に、ドーム型 26 cm 口径可視光望遠鏡 CAT を設置し、可視光モニタを行っている。

U, B, V, R, I, H α フィルターを用いた測光観測を行っており、視野分角は 51×34 、限界等級は都内中心ながら V バンドで約 14 等級 (露光時間 120 sec、S/N = 10) であることがわかっている (2014 年度秋季天文学会 坪井 他)。

一方で、市販の分光器 (R ~ 10) を導入し、手動の切り替えによって、分光観測を行うことができる。限界等級は約 8 等級 (露光時間 300 sec、S/N = 50) である。測光と分光の独立した観測を行うために、今年度に可視光分光観測用ドームを設置する計画を立てている。これによって、前例がほとんどない、恒星フレアの X 線と、可視光による測光かつ分光の同時観測が可能となる。

私は、MAXI との同時観測を目的として、測光観測システムの自動化を進めている。システム制御ソフトウェアである ACP を導入し、ACP にスクリプトを読み込ませることで、観測機器の自動制御を行うことができる。現在、ドームスリットの開閉、赤道儀の操作、CCD カメラによる撮像まで自動制御が可能となっている。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V231a 岡山天体物理観測所のリモート観測環境構築 2

柳澤顕史、黒田大介、井上剛毅、水本好彦、浮田信治、神戸栄治、泉浦秀行（国立天文台）

我々は岡山天体物理観測所 188cm 望遠鏡のさらなる成果拡大を目的としてリモート観測環境を構築し、2016A より共同利用への公開を開始した。本講演では、リモート観測環境の概要と性能、利用状況について報告する。

当観測所では、KVM-over-IP を中核技術に据えたりリモート観測環境を構築・提供している。KVM-over-IP は、ネットワーク経由で操作可能な KVM スイッチのことで、操作対象端末を、ユーザー側に複製し、操作する環境を提供する。当観測所では KVM-over-IP に、望遠鏡や観測装置の制御端末を接続している。リモート観測環境の利用は簡単で、Web ブラウザで KVM-over-IP にアクセスし、接続希望端末をメニューから選択すれば良い。ユーザーは目の前の端末上に、観測所の制御端末を複製・表示することができ、観測所端末と全く変わらない操作環境を得ることができる。なお本リモート観測環境は、安全の確保、各種セキュリティへの対処、天候変化・ネットワーク切れなどへの対応を念頭に設計されている。

本リモート観測環境の利用を促進する目的で、常設端末と可搬型端末の2種類を用意した。常設端末は、国立天文台・三鷹・すばる棟に設置しており、三鷹で滞在型の観測ができるように受け入れ体制を整えられている。可搬型端末は、4K ディスプレイを備えたPCである。所属研究機関からの観測を念頭に、希望者に貸し出ししている。

2016A では、7つの研究課題につき、35回、307時間の利用があり、接続元は、三鷹を含め、4研究機関であった。内容は、短時間の観測を断続的に長期にわたって行う観測、参加研究者数が多いプロジェクト観測、ToO 観測など、地理的移動が研究遂行上の障害となっているような観測であった。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V232b 岡山 188cm 望遠鏡と高分散分光器 HIDES-F のキューモード観測環境の構築

前原裕之, 神戸栄治, 浮田信治, 黒田大介, 泉浦秀行 (国立天文台)

現在の国立天文台岡山 188cm 望遠鏡の主力観測装置の一つである HIDES-F は、視線速度精密測定による太陽系外惑星の探索などの研究で成果を挙げている。こうした長期間にわたる高頻度の観測が必要となる研究においては、データ取得作業にかけられるマンパワーが研究の規模を制限している部分がある。視線速度精密測定による惑星系の探索規模を飛躍的に拡大したり、隙間時間を活用した新たなサイエンスの開拓や ToO 観測への対応などのためには、観測の大幅な省力化と効率化、すなわち観測天体リストや観測の優先度に基づき全自動で天体を分光器へ導入し観測データを取得するシステムの構築が不可欠である。

188cm 望遠鏡と HIDES-F を用いた観測の全自動化の第一段階として、観測用キューシステムを構築し、キューシステムから 188cm 望遠鏡、HIDES-F、オートガイダーのそれぞれを連動させて天体の光ファイバーへの自動導入・オートガイド、オートフォーカスおよび分光器の設定や分光データの取得を行う各観測コマンドの実装を行った。2016 年前期までに行った観測では、観測コマンドの作成およびキューシステムへのコマンドの登録を観測者自身が行う必要はあるものの、キューシステムを用いて (露出時間にもよるが) 一晩で 20 天体以上の分光データをほぼ全自動で取得できることを確認した。本講演では HIDES-F のキューモード観測環境の概要と試験観測の結果、および今後の全自動観測の実現に向けた計画について紹介する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V233b 埼玉大学望遠鏡・装置制御系“ SaCRA システム ”による多波長複数装置同時観測

柴田 吉輝, 清水 孝志, 清野 玄太, 宮川 遼太, 大朝 由美子 (埼玉大学), 潮田 和俊 (住田光学ガラス/埼玉大学), 木野 勝 (京都大学)

埼玉大学では、55cm 望遠鏡“ SaCRA ”や 36cm 望遠鏡及び、複数の観測装置を有しており、光・赤外線天文学大学間連携事業 (OISTER) における連携観測や系外惑星等の観測を行っている。2016 年春までに 36/55cm 望遠鏡と可視三波長同時偏光撮像装置“ MuSaSHI ”及び可視中分散分光器を制御する“ SaCRA システム ”の大枠が完成した。しかし 36cm 望遠鏡と撮像装置の組み合わせには、検出器上に出現するノイズや望遠鏡の天体導入精度、フラット等、まだ課題が残されている。現在は、各装置の改良を行うと共に、望遠鏡制御・観測手法の検討を行っており、“ SaCRA ”と“ MuSaSHI ”及び 36cm 望遠鏡と撮像装置を組み合わせた (1) 広域探査とその追観測、(2)4 種のフィルターを組み合わせた 4 波長同時撮像観測を計画している。(1) では、36cm 望遠鏡でより広視野の探査観測を行い、変光の強い天体や突発天体等を選出し、“ SaCRA ”と“ MuSaSHI ”や分光器を用いて追観測する方法を検討している。(2) では、前主系列星や GRB、トランジット天体等、本研究室で行われている一連の研究に使用するため、多波長での測光値をリスト化する予定である。これらの観測を実施するために、2016 年春までに一次処理半自動化を完成させ、今回、簡易測光を実施する OISTER の共通解析パイプライン“ CARP ”の導入を行った。これにより、即時的に測光結果を確認することが可能となった。本稿では、埼玉大学望遠鏡・装置制御系“ SaCRA システム ”による多波長複数装置同時観測の現状と課題について報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V234b 太陽 GLAO のための波面センシング法の開発

大石明、三浦則明、本間佑涼、桑村進（北見工大）、馬場直志（室蘭工大）、上野悟、仲谷善一、一本潔（京大理）

我々は飛騨天文台ドームレス太陽望遠鏡において、地表層補償光学系 (GLAO) を開発することを計画している。GLAO では地表層波面ゆらぎのみを補正するため、原理的に回折限界は実現できないが、広視野での画像改善が可能になる。また、地表層と上空層の波面位相を個別に決定できれば、現在の AO 光学系を変更することなく、ソフトウェアの変更のみで GLAO を実現できるという、実際上の大きな利点がある。

2016 年 5 月に飛騨天文台で取得したデータを用いて、トモグラフィック波面センシングの開発を進めている。サブアパーチャ内の複数点をセンシング用の参照点として波面推定を実行し、得られた複数の推定波面から、上空層と地表層の波面位相を個別に決定するものである。現状、開発した方法によって地表層波面を推定できてはいるが、波面が風によって開口を横切るような現象は再現できていない。原因は調査中である。

また、上空波面推定にあたってゆらぎ層の高さは自由パラメータであり、これを推定する方法が課題として残っていた。これに対処するため、GLAO を動作させる前に、SLODAR による予備観測を実施し、あらかじめゆらぎ層の高さを決定することを想定している。現在 SLODAR の開発を進めているところである。様々な時刻（天頂角）でのデータを取得してあるので、得られる高さ情報が時刻によってどのように変化するのかを観察すれば、手法の有効性を確認することができると考えている。結果は当日報告する予定である。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V235a 京大岡山 3.8m 望遠鏡搭載に向けた高コントラスト装置 SPLINE の開発

黒田真之佑, 村上尚史 (北海道大), 小谷隆行 (AstroBiology Center/国立天文台), 河原創 (東京大), 山本広大 (京都大), 松尾太郎 (大阪大), 馬場直志 (室蘭工業大), 田村元秀 (東京大/国立天文台/AstroBiology Center)

現在建設中の京大岡山 3.8m 望遠鏡への搭載を目指し、高コントラスト装置 SEICA の開発が進められている (山本他、2016 年春季年会 V247a)。SEICA は、極限補償光学およびコロナグラフなどから構成され、木星型巨大ガス惑星の直接撮像を目標としている。SEICA に搭載するコロナグラフとして、サバール板横シヤリングナル干渉計 (SPLINE) が検討されている。SPLINE とは、サバール板を直交する偏光子で挟んだシンプルな構造をしたナル干渉型コロナグラフである (村上他、2010 年秋季年会 V36b)。SPLINE には、アクロマティックで安定、セグメント型望遠鏡にも有効であるなど、多くの利点が挙げられる。しかしながら、偏光子を用いているため、惑星光のスルーブットが低下してしまうといった問題がある。この問題を解決するため、偏光子の代わりに偏光分離素子を用いた 2 チャンネル SPLINE が提案されている (木田他、2012 年秋季年会 V224a)。

我々は、SEICA への搭載に向けて、くさび形方解石プリズムペアによる偏光分離素子と、LB4 サバール板から構成される 2 チャンネル SPLINE の開発を推進している。SEICA 用 SPLINE は、主星から離角 $1.5\lambda/D$ においておよそ 6 桁のコントラストを目標とする。目標コントラストを達成するために許容されるアライメント誤差を、数値シミュレーションにより計算した。また、数値シミュレーション結果をもとに、人工白色光源を用いた室内での実証試験、およびコントラスト評価を行った。本講演では、数値シミュレーションの結果、および室内試験で得られたコントラスト評価の結果について報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V236a 瞳再配置型光学系による位相マスクコロナグラフの実証実験 2

赤岩夏海, 村上尚史 (北海道大), 西川淳 (国立天文台/総研大/ AstroBiologyCenter (ABC)), 田村元秀 (東京大/国立天文台/ABC), 小室佑介 (北海道大), 馬場直志 (室蘭工業大)

太陽系外惑星を直接撮像するためには、主星光と惑星光の莫大な強度比を解消するための高コントラスト撮像装置が必須である。その有力な手法の一つとして、位相マスクコロナグラフが提案されている。位相マスクコロナグラフは、望遠鏡瞳が円形ならば理論上完全に主星光を除去することができ、主星の近くの微弱な惑星の撮像を可能にする。しかしながら実観測においては、望遠鏡瞳には副鏡やスパイダの影がうつりこんでおり、この影により恒星除去性能が劣化してしまうという大きな課題がある。

この課題を解決するため、瞳再配置型光学系による位相マスクコロナグラフが提案されている (村上他、2015年春季年会、W216a)。本手法ではまず、望遠鏡瞳から副鏡とスパイダの影を避けるように4つの円形サブ開口を取り出す。しかしながらこのままでは、隣接するサブ開口から恒星光が漏れこんでしまうため、高コントラストを得ることができない。そこでさらに、瞳再配置光学系を設置する。瞳再配置光学系とは、ミラー反射によってサブ開口間の距離を広げる操作を行うシステムである。これにより、隣接するサブ開口からの恒星光の漏れ込みを格段に減少させることができ、コントラストの大幅な向上が期待される。

これまでに、2個のサブ開口を想定した簡易版の瞳再配置光学系による予備実験が行われている (赤岩他、2015年秋季年会、V227a)。そこで我々は新たに、実際の観測を想定した4個のサブ開口に対する瞳再配置光学系の室内シミュレータを構築した。さらに、光渦コロナグラフと組み合わせた実証試験を行い、恒星除去性能 (コントラスト) の評価を行った。本講演では、本実証試験の結果について報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V237a 広帯域コロナグラフ観測を目指した3層8分割位相マスクの特性評価

小室佑介, 村上尚史(北海道大学), 西川淳(国立天文台/総研大/AstroBiology Center), 赤岩夏海(北海道大), 馬場直志(室蘭工業大), 田村元秀(東京大/国立天文台/AstroBiology Center)

太陽系外惑星を直接撮像するためには、明るい主星光を強力に除去する高コントラスト装置(コロナグラフ)が必要となる。特に、ハビタブルゾーン(生命居住可能領域)にある地球型惑星の直接撮像を目指すためには、可視・近赤外域で恒星光を 10^{-10} まで除去する性能が不可欠となる。コロナグラフの有力なデバイスとして、フォトニック結晶技術による8分割位相マスク(Eight-Octant Phase-Mask, 8OPM)が開発されている(村上他, 2010年春季年会 W20a)。この位相マスクは、主軸方位が $\pm 45^\circ$ の(単層)8分割半波長板で構成され、直交する偏光子で挟むことにより、理論上波長に依存せず恒星光を完全に除去できる。しかしながら、偏光子を用いることにより、光波面乱れによるコントラストの劣化、およびスループットの減少という2つの大きな問題がある。

我々は、これらの問題を解決するため、偏光子を用いずに広い波長域での高コントラスト観測を目指した3層8OPMの開発に着手している(村上他, 2016年春季年会 V224a)。提案する本デバイスは、主軸方位の異なる3層のフォトニック結晶8分割半波長板を重ね合わせた構造をしている。この位相マスクは、上述の単層8OPMよりも広帯域かつ高コントラストを達成できると期待されている。我々は新たに、試作デバイスを用いたコロナグラフの室内実証実験を行った。恒星モデルとしてレーザーおよび白色人工光源を用いて複数波長におけるコントラストを測定し、その波長依存性を評価した。さらに、デバイスの製造誤差を想定したコロナグラフの数値シミュレーションを実施し、上述の実験結果との比較を行った。本講演では、試作した3層8OPMの特性評価、ならびに数値シミュレーションの結果について報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V238a **WFIRST コロナグラフのための偏光補正デバイスの開発**

村上尚史 (北海道大), 田村元秀 (東京大/国立天文台/ABC), 西川淳 (国立天文台/総研大/ABC), Wesley A. Traub, Hong Tang, John T. Trauger (Jet Propulsion Laboratory), 住貴宏 (大阪大), 山田亨 (宇宙科学研究所), WFIRST ワーキンググループ

NASA の将来計画である口径 2.4m の WFIRST 望遠鏡は、重力マイクロレンズ観測と直接観測の 2 つのアプローチにより、系外惑星研究において重要な役割を果たすことが期待されている。系外惑星の直接観測のためのコロナグラフ装置 (Coronagraphic Instrument, CGI) は、可変形鏡による補償光学システムとコロナグラフの組み合わせにより、広い波長域で 10^9 レベルの極めて高いコントラストを目標とする。また、コロナグラフ装置の後段に偏光分離素子の搭載が検討されており、これが実現されれば、偏光観測による系外惑星のキャラクタリゼーションも期待される。広い波長域にわたり高コントラスト偏光観測を実現するためには、(1) コロナグラフ装置に入射する XY 偏光波面の差が極めて小さい、(2) XY 偏光波面がフラットである、の 2 つの要求を観測波長域にわたり満たす必要がある。しかしながら実際は、望遠鏡主鏡を含むミラー反射などにより、波長に依存する装置偏光が発生してしまい、上記の (1) および (2) を満たすことができない。

我々は (1) を実現するため、厚みが空間的に変化する 2 個の複屈折デバイスで構成される装置偏光補正システムを提案し、その初期設計を報告した (村上他、2015 年秋季年会 V224a)。それ以降の大きな進展として、(a) 上記 (2) を実現するための非複屈折デバイスの提案、(b) CGI 装置の新たな装置偏光データに基づく各デバイスの再設計、(c) 複屈折材 (方解石および水晶) による補正デバイスの試作、などを推進した。本講演では、WFIRST コロナグラフのための偏光補正デバイス開発の進捗について報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V239a 冷却補償光学系用「アサーマル型モノモルフDM」の試作品の評価

山口仁志（京都産業大学）、大屋真（国立天文台）、池田優二（京都産業大学/フォトコーディング）、馬目威男、堀内雅彦、柳橋健太郎、向井伸二（京セラ株式会社）

2000年以降、特に8-10m望遠鏡において補償光学(AO)は必須の装置となっている。これまで技術的に補償がより容易な赤外線では技術革新が進んできたが、宇宙論スケールの遠方天体や減光の大きい銀河中心や星形成領域の天体が観測可能な赤外線でのAO観測は、TMT時代においてますます重要になると考えられる。特に、赤外線AOの補償精度は十分に確立されつつあり、更なる感度向上には赤外線背景光を抑えた冷却AOの実現が必須である。現在我々のグループでは、冷却可能なDMの実現を目指した開発を行っている。冷却DMの最大の技術的困難は、DMを構成する部品の線膨張の違いにより冷却環境下でDMが形状歪みを起こすことである。我々はその解決手段として、基板材のPZTに線膨張係数が近く光学研磨が可能なSiCを鏡材として一体化させた新しい「アサーマル型モノモルフDM」を提案している。

実現性の確認のための簡易設計の結果、SiC鏡材厚100 μm 、PZT基板厚350 μm 、素子数32($\Phi 25.4\text{ mm}$)の設定において、共振周波数2.6kHz、ストローク13 μm (3.3 μm /素子)、電流限界値2.6mAが期待できると分かった。その設計を基に京セラ株式会社の協力のもと試作した結果、静状態で平坦度が6.86 μm (PV)および0.937 μm (rms)のサンプルを作成できた。完成したDMの電極に導電性接着剤で配線を施し、電圧を印加することで面変形量をレーザー変位計で測定したところ、想定した凸方向に鏡面形状が変化し、ストローク値18~27 μm を達成していると分かった。本講演では引き続き実施している干渉計を用いたより定量的な変形量の評価結果および再現性の検証結果についても報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V240c 多天体補償光学に向けた Open-Loop 補償光学系での波面補償の試験

鈴木元気 (東北大学), 秋山正幸 (東北大学), 大屋真 (国立天文台)

我々は、TMT(Thirty Meter Telescope)の第二期観測装置として、多天体補償光学 (Multi Object Adaptive Optics:MOAO) の検討を進めている。MOAOでは、複数のレーザーガイド星からの光を複数の波面センサにより測定をし、トモグラフィーの手法を用いて観測天体の方向の波面の推定を行う。波面測定方向と観測天体の方向が大きく異なることから、MOAOでは開ループでの波面補償が不可欠となり、基幹技術の一つになっている。

当研究では、開ループ制御での波面補償について検証を行うために、東北大学の51cm望遠鏡への搭載を目的とした開ループ試験用補償光学装置を開発した。この補償光学装置を用いて、大気ゆらぎを再現できるシミュレーション光学系での実験および、51cm望遠鏡でのOn-Sky観測により、閉/開ループ制御での波面補償の精度について比較実験を行った。

本講演では、これらの制御手法による波面補償精度の比較実験の結果と共に、開ループ制御における校正手法と可変形鏡の変化量の制限値を考慮した可変形鏡への印加電圧の最適化計算法についても報告を行う。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V241c 補償光学シミュレーションに向けたシーイングの波長依存性の観測的評価

大屋真、寺田宏、早野裕 (国立天文台)、渡辺誠 (岡山理科大学)、服部雅之 (基礎生物学研究所)

赤外線での地表層補償光学装置 (Ground-Layer Adaptive Optics; GLAO) の性能評価シミュレーションに有用な情報である可視光と赤外線でのシーイングの違いについて報告する。GLAO は地表付近のゆらぎのみを補正する。望遠鏡の開口近くにある地表層ゆらぎは視線方向によらず共通なため広視野で補正が有効である反面、上層大気ゆらぎの影響が残るので補正性能は回折限界には達せずシーイングの改善が主目的となる。そのため GLAO の補正効果は補正有りの場合と無しのシーイングの場合を (例えば星像の半値幅で) 比較して評価される。口径 8m 級望遠鏡を想定した GLAO シミュレーションによると近赤外波長域で補正が最も効果的なので、観測装置や観測プログラムもこの波長帯で重点的に検討されることになる。この近赤外波長域における GLAO の補正効果を正しく評価するためには同波長域でのシーイングを知る必要がある。シミュレーションは設置サイトのシーイングの統計値を基に行われるが、シーイングの長期的な統計データは一般的に可視光で蓄積されており赤外線での統計値は可視光の値から変換して推定することになる。ところが可視光と赤外線のシーイングサイズ比は大気ゆらぎの条件により変化する。大気ゆらぎのスペクトルがコルモゴロフ乱流である場合は波長の 0.2 乗に逆比例してシーイングサイズは小さくなるが、実際の大気ゆらぎのスケールには上限 (アウトースケール) があるのでこの関係からずれることが知られており、その影響を考慮した経験式も提唱されている。すばる望遠鏡を通して同時撮像観測によって測定したところ、可視光 (V バンド) と赤外線 (K バンド) のシーイングサイズ比は $V/K=1.54\pm 0.17$ という結果が得られた。本講演ではシミュレーション結果との比較や経験式の検証を含めて議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V242a 天体観測のための補償光学システム開発

入部正継，中村祐一（大阪電気通信大学），山本広大，木野勝（京都大学），松尾太郎（大阪大学）

地上での天体観測では観測の妨げになる大気揺らぎを補正する補償光学 (Adaptive optics) が不可欠である。この補償光学を使用することにより、地上で観測した観測光の波面の乱れを補正し、空間分解能を回折限界に近づけることが可能となる。著者らは、直接撮像装置にて系外惑星探査を行う系外惑星サイエンス SEICA (Second-generation Exoplanet Imager with Coronagraphic Adaptive optics) の補償光学システムを開発している。ところで、従来の補償光学システムでは、制御装置に汎用コンピュータを使用することが多いため、制御装置は Windows OS 上で動作するものが多く見受けられる。そのため Windows OS では、ユーザが制御不可能な割り込み動作に起因する実時間性の低下が問題となる。また系内のフィードバック制御器は windows 上のアプリケーションとなるため、サンプリング周波数の高速化が困難である（例えば著者らの従来研究では 5Hz と非常に低速であった）。このように従来の Windows OS を使用したシステムを使用する限り、実時間性能の向上とサンプリング周波数の高速化を実現することは不可能である。そこで著者らはこれらの問題を解決すべく、補償光学の制御装置が動作する OS に Linux を採用し、高い実時間性能とサンプリング周波数の高速化が可能な制御システムを開発した。その結果、サンプリング周波数が 909Hz とする高速化を実現した。また実時間性能は、サンプリング周波数 909Hz を中心に Jitter (ゆらぎ) 成分がサンプリング周波数の $\pm 1.4\%$ 以内となり、十分な実時間性能を担保可能であることを確認した。さらにこの制御システムを使用した補償光学の予備実験にて、補償後の波面残差量が設計仕様上の値の 43.5% 以下となることを確認した。本講演では、この補償光学システムの開発について述べる。また、制御系のサンプリング周波数やリアルタイム性能が波面補償の性能にどのような影響を与えるかについても議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V243a 飛騨常設補償光学系の開発：光学系の校正と観測

三浦則明、大石明、本間佑涼、桑村進（北見工大）、馬場直志（室蘭工大）、花岡庸一郎（国立天文台）、北井礼三郎（佛教大）、上野悟、仲谷善一、一本潔（京大理）

我々は飛騨天文台ドームレス太陽望遠鏡 2F に常設補償光学系（AO）の設置を進めている。従来放物面鏡の面精度が悪く十分な結像性能が得られていなかったため、その再研磨をメーカーに依頼して実施した。2016年5月、これをAO光学系に組み込み校正作業を行った。レーザースポットを望遠鏡の焦点面に置き、AO光学系を通した後、水平分光器の焦点面上で観測した。このとき可変形鏡の電圧を調整することで、焦点面でレーザースポットが最も点に近くなるようにした。この結果、コヒーレント光学系の理想的な値で規格化して平均約0.26のストレーリング比が得られていることを確認した。これがAO補正によって実現できる理想的な場合のストレーリング比の目安となる。

次に、AO補正の効果を確認するため、太陽黒点を参照としてAOを駆動した状態からOFFにする実験をした後、すみやかに光学系を切り替え、AOを通さない状態でデータを取得した。これらを目視で比較したところ、AOを通すことで画像変動が大きく抑えられていることが分かった。また、画像のコントラストも改善されていることを確認した。

今回の太陽観測では、波面センシングは450nmで行ったが、データ取得は656nm付近で実施した。厳密には両波長間で波面形状は異なるが、補正量を波長比で調整するような近似的な補正でもAOの効果を確認することができた。当日は、この太陽観測結果も併せて報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V244c 西はりま VTOS によるスペックル観測とデータ処理 (2) : EMCCD の特性解析

桑村進, 小田島渉, 三浦則明 (北見工大), 圓谷文明 (西はりま天文台), 坂元誠 (子ノ星教育社), 馬場直志 (室工大)

VTOS(visible target observation system) は可視光における高空間分解能イメージングを目的として開発された観測装置で、西はりま天文台なゆた望遠鏡に設置されている。我々は当装置を利用し、スペックル像再生法の研究を行ってきた。スペックル像再生法は、補償光学では難しい可視域の高空間分解能結像法として重要である。再生像の信頼性は、光学系の結像特性や光学像の検出特性を正確に把握し、それらを再生アルゴリズムに忠実に反映させることによって担保される。これまで我々は VTOS データを使って像再生アルゴリズムの改良を行ってきたが、撮像カメラの雑音については近似的な統計モデルを仮定していた。そこで本研究では、実際に使用している撮像カメラの検出過程を正確に把握し雑音モデルの精密化を試みる。VTOS では、撮像カメラとして電子増倍型 CCD(EMCCD) が使われている。雑音解析では、観測時に取得した補助データ (遮光フレームと一様照明スクリーン像) を使用した。雑音の統計モデルとして、光電子および暗電荷数がポアソン、増倍電荷総数がガンマ、読み出し雑音がガウシアン分布に従うと仮定した。また単電荷に対する検出器の応答関数 (検出器 PSF) を考慮に入れた。様々な露光時間で撮られた補助データの平均、分散、ヒストグラムを解析することによって、統計パラメータの推定を試みた。検出器 PSF は暗電荷が発生した画素を平均化することで求めた。更に本研究では、新しい雑音モデルに基づいて連星の像再生を行い、モデルの検証を行う予定である。本解析の結果を基にデータの尤度関数を求めることができるが、これは近年注目されているベイズ推定に基づく像再生法で必須となる。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V245a 大型低温重力波望遠鏡 KAGRA プロジェクトの現状

正田亜八香, The KAGRA Collaboration

2015年9月、アメリカのレーザー干渉計型重力波望遠鏡 LIGO が世界で初めて重力波を直接検出した。これは約 $30M_{\odot}$ の質量を持つブラックホール連星からの重力波だということが分かっているが、一方で LIGO の2台の重力波望遠鏡だけでは重力波の到来方向などを決定することができない。このようなパラメータを決定するうえで重要となるのは3台以上の重力波望遠鏡が同時に稼働することである。

日本でも、岐阜県神岡の地下トンネル内で一辺3 km のL字型レーザー干渉計を用いた大型低温重力波望遠鏡 KAGRA の建設を進めている。KAGRA は2010年10月にプロジェクトがスタートし、2012年にトンネルの掘削が終了した。その後各種設備の整備をはじめ真空槽のインストールなどが行われ、2016年3月から4月に渡って簡易的な構成の干渉計での常温試験運転が行われた。

本講演では試験運転の結果をまとめるとともに、2018年に予定されている低温動作に向けた開発の現状について報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V246a 大型低温重力波望遠鏡 KAGRA の補助光学系の開発 VII

阿久津智忠, Simon Zeidler, 大淵喜之, 浦口史寛, 池之上文吾, 都築俊宏, 齊藤栄, 福嶋美津広, 麻生洋一 (国立天文台), 道村唯太 (東大物理), 苔山圭以子, 中野雅之, 宮川治, 上泉眞裕 (東大宇宙線研), 齋藤芳男 (KEK, 東大宇宙線研)

大型低温重力波望遠鏡 かぐら (KAGRA) は、岐阜県神岡の地下にある基線長 3km のレーザー干渉計である。先日、米国 LIGO において史上初の直接検出がなされた重力波であるが、一般に重力波は極めて微弱な信号であり、これを地上の検出器でとらえるためには、あらゆる雑音源を想定して対策をほどこさなければならない。たとえば、干渉計を構成する鏡の地面振動によるゆらぎも重力波検出器にとっては雑音源であり、これには干渉計を地面振動の静かな場所 (神岡地下) に設置し、かつ多段の防振系を用いることで対策しようとしている。また、鏡の熱雑音によるゆらぎも問題となりうることから、これを避けるために、KAGRA ではメインの鏡を 20K まで冷却する予定である。

KAGRA 補助光学系とは、干渉計内の迷光対策や、3 km 光軸の長期安定制御を達成するために必要な、諸々の光学系サブシステムのことである。たとえば迷光対策としては、光学バッフルやダンパの設計、製造を行っており、これらの大部分はすでに 3 km アームにインストールされている。また、長期安定稼働のためには、干渉計の光軸や個々のミラーの姿勢を安定かつ低雑音に監視し、この情報をメインの干渉計へ feedback する必要があるが、この目的で、3 km 光軸に対して透過光モニター用の大型望遠鏡を用意する予定である。本講演では、今年の春先に行われた KAGRA の試験運転の状況をふまえて、これらの設計開発の現状および今後のアップグレードの予定について報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V247a 新しい姿勢制御方式を用いた重力波天体探査衛星

針田聖平, 吉井健敏, 村木雄太郎, 谷津陽一, 河合誠之 (東工大理学院), 俵京佑, 河尻翔太, 古賀将哉, 渡邊輔祐太, 佐々木謙一, 小池毅彦, 松永三郎 (東工大工学院)

2015年9月、アメリカのLIGOが世界初の重力波の直接検出に成功し、重力波天文学の時代が始まった。しかしながら、現時点でその位置決定精度はきわめて低く、既存の地上望遠鏡や衛星を用いた対応天体の同定は困難である。地上で広視野の光学観測を行う際、ピクセル当たり画角が大きくなるほど、映り込む夜光・都市光などの背景光が明るくなり、検出限界が浅くなってしまふ。また、可視光による観測のみで突発天体の探査を行う際、光学系の重力による歪みや天候などによる観測条件の変化が突発天体の自動検出を困難にする。我々はこの様な問題を解決し、世界に先駆けて重力波対応天体を検出するために、宇宙からの光学観測衛星の開発を計画している。

重力波天体の候補として、中性子星連星の合体によるshort GRBが挙げられる。その残光は急速に減光することが予想され、これを追跡するためには衛星の迅速な姿勢制御が不可欠になる。一方、光学観測を行うには±数秒角という高い姿勢安定性が要求されるため、回転速度と安定度という相反する特性を両立しなければならない。我々はこの課題を克服するため、全く新しい発想の姿勢制御機構を用いた衛星システムの概念設計を進めている。

ペイロードには観測機器として、重力波天体探査用の広視野可視光望遠鏡、広視野硬X線モニター、また、近紫外観測の狭視野の大口径望遠鏡を搭載する。これらの機器により、月に数個の超新星の検出を見込んでいる。近紫外線領域においては宇宙からの観測が必須であり、超新星ショックブレイクアウトのような観測例の少ない未知の現象も検出が期待され、重力波天体以外の科学的成果創出も視野に入れて設計している。

本講演ではミッション要求を初めとして、衛星の概略を紹介し、観測機器、観測シーケンスについて発表する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V248a 革新技术実証衛星のためのスタートラッカーと地球カメラの開発

村木雄太郎, 吉井健敏, 針田聖平, 谷津陽一, 河合誠之 (東工大 理学院), 松下将典, 太田佳, 菊谷侑平, 林雄希, 新谷勇介 (東工大 工学院)

我々は、2017年度打ち上げ予定の革新技术実証衛星1号機に搭載する地球カメラ (ECAM : Earth Camera) とスタートラッカー (STT : Star Tracker) の開発を進めている。このセンサの開発コンセプトは、最新の画像認識技術である深層学習と安価な民生品を応用した、高性能と超低価格の革新的なセンサの実現であり、超小型衛星による高精度な姿勢制御を実現するための要素技術である。この背景には、昨年度のLIGOによる重力波の検出がある。ガンマ線バーストの例からも明らかな通り、突発天体の研究において重要なのは早急な位置決めであり、これが重力波源で起こっている未知の物理現象を解明するために絶対必要なプロセスである。このような目的で、我々は広視野可視光サーベイ衛星の開発を進めているが、その姿勢制御の要となるSTTはきわめて高額であり、衛星全体を開発するにあたり開発コストの観点でインパクトが大きい。また、光学天文観測の様に±数秒角の姿勢安定度を露光時間の間継続するような特殊な制御は、市販のSTTの機能だけでは実現が困難である。

そこで、本研究では、画像センサをベースとした角速度検知・恒星を使った絶対姿勢推定システムを開発する。搭載検出器には入手が容易できわめて高性能な民生デバイスを可能な限りそのまま流用し、製造工程上の不具合混入リスクを避ける。本研究では、いくつかのサンプルカメラに対して検出特性評価、放射線耐性評価を実施し、最終的に搭載品を選定した。解析用演算装置ではIoTの恩恵を有効に活かし、ワンボードPCを搭載する。これにより数ワットの電力で、10年前のデスクトップPC並の演算処理を衛星軌道上で実現することができる。本講演では、概念設計、検出特性評価、放射線耐性試験の結果について報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V249a 「あかり」近赤外線グリズム分光観測における二次光影響の補正：液体ヘリウム枯渇後(1)

馬場俊介 (東大, 宇宙研), 中川貴雄 (宇宙研), 尾中敬 (東大), 臼井文彦 (神戸大), 山岸光義 (宇宙研)

赤外線天文衛星「あかり」の近赤外線グリズム分光観測(観測波長 $2.5\text{--}5.0\ \mu\text{m}$ 、波長分解能 $\lambda/\Delta\lambda \sim 100$)では、観測波長 $4.9\ \mu\text{m}$ 以上で回折二次光が混入しており、赤いスペクトルの天体ではフラックスを正しく較正できないという問題があった。我々は二次光混入の原因がグリズム材質の屈折率の波長依存性であることを突き止め、その補正を進めている。これまでに、全観測のうち液体ヘリウム残存中(Phases 1, 2)の観測に対しては、屈折率の波長依存性を考慮した波長較正と一次光・二次光に対する波長感度曲線の連立的な取得によって、二次光影響の定量的補正を完了している(Baba et al. 2016; 2014年秋期年会 W203a 馬場他)。

現在は、液体ヘリウム枯渇後(Phase 3)の観測データに対して同様の補正を進めている。Phase 3では装置温度が徐々に上昇しており、波長較正曲線と波長感度曲線の経時変化が懸念される。我々は今回 Phase 3 最初の7か月での波長較正を行った。H α 領域における水素再結合輝線の観測から、この期間でも Phases 1, 2と同様に、グリズム材質の屈折率の波長依存性により分光画像のピクセル-波長関係に非線形性が生じていると分かった。この非線形性のために波長 $2.5\ \mu\text{m}$ の二次光は波長 $4.95\ \mu\text{m}$ の一次光と同じ位置に入射する。したがって、オーダーソートフィルターで波長 $2.5\ \mu\text{m}$ 以下の光が完全に遮断された場合でも、波長 $4.95\ \mu\text{m}$ 以上では二次光が混入してしまう。以上のことから、Phase 3の少なくともこの期間では確実に二次光混入が発生しており、 $4.95\text{--}5\ \mu\text{m}$ の正しいフラックス較正には二次光成分の補正が必要であるということが確かめられた。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V250a Nano-JASMINE と小型 JASMINE の進捗状況概要

郷田直輝, 小林行泰, 辻本拓司, 矢野太平, 上田暁俊, 宇都宮 真, 鹿島伸悟, 亀谷 収, 浅利一善 (国立天文台), 山田良透 (京大理), 吉岡 諭 (東京海洋大), 穂積俊輔 (滋賀大), 梅村雅之 (筑波大), 西 亮一 (新潟大), 浅田秀樹 (弘前大), 長島雅裕 (長崎大), 石村康生 (宇宙研/JAXA), 中須賀真一, 酒匂信匡 (東大工), ほか JASMINE ワーキンググループ同

Nano-JASMINE は、超小型衛星ではあるが、Gaia では星像中心の位置決定が困難となる明るい星に対しての測定を行えることや Gaia データの validation のため、Gaia チームからの期待も大きい。2010 年に完成している打ち上げ実機 (FM) の維持管理および地上通信局や Gaia チームとの共同でのデータ解析の準備が引き続き進んでいる。さらに、新たな打ち上げ可能性として浮上したヨーロッパ宇宙機関 (ESA) による 2017 年度末頃の打ち上げに向けて、調整が続けられている。一方、小型 JASMINE は、星の運動 (動力学) を用いて、銀河系中心の巨大ブラックホールがブラックホールの合体によって成長したかどうかを 99.7 % 以上の高信頼度で判定を行うことやさらに中心核バルジの重力場を高信頼度で制限し、内部バーの存在を動力学的に明らかにすることを主目的とする。そのため、年周視差を 20μ 秒角以内の精度 (固有運動精度は 50μ 秒角/年以内) で、中心核バルジ領域を測定するが、銀河系中心での星団形成、X 線共生星、重力レンズ効果等の解析も行える。さらに、その他興味ある特定天体 (CygX-1、ガンマ線連星や系外惑星、褐色矮星等) に対しても公募により位置天文観測を行う。JAXA 宇宙研の公募型小型計画宇宙科学ミッションへミッション提案を行うとともに、科学検討や WBS や開発計画等の詳細化、さらなるシステム検討や技術要素の実証実験を進めた。以上の進捗状況を報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V251a Nano-JASMINE と小型 JASMINE のデータ解析の準備状況

山田 良透 (京都大学)、Uwe Lammers(ESAC)、Daniel Michelik(Lund 天文台)、小林行泰、郷田 直輝、矢野 太平、原拓司 (国立天文台)、吉岡諭 (海洋大)、穂積俊輔 (滋賀大)、酒匂 信匡、中須賀真一 (東京大学)、荒井隆志 (京都大学)、池田思朗 (統計数理研)

Nano-JASMINE は、日本初の位置天文観測衛星、小型 JASMINE は赤外線によるスペース位置天文としては世界初の衛星である。Nano-JASMINE のデータ解析は、Gaia チームとの協力で進めてきて、ESA の大型位置天文観測衛星 Gaia 用に構築された core 解析ソフトウェア AGIS(Astrometric Global Iterative Solution) を、Nano-JASMINE 用に一部修正して用いることは、本学会でも何度か紹介してきた。小型 JASMINE は観測手法が異なるので、日本での新規開発の部分が多い。

解析チームでは、これまで AGIS(Gaia のコアソフト) の Nano-JASMINE 適用、衛星姿勢のモデル化、IDT での星像中心推定手法の開発や検出器特性モデルの組み込みなどを行ってきた。これらの知見をいかしながら、小型 JASMINE の解析ソフトウェアの開発にも着手した。その状況を報告する。

また、JAXA-ESA の協力の枠組みの中で、Gaia の研究者との連携がスタートした。衛星を軌道にあげると、予期しない様々な問題が起こってくる。Gaia の場合は、衛星のクランクと微粒子衝突の両方で角速度が変化するが、その切り分けと対応を行った研究者が、小型 JASMINE の解析に関しても力を貸してくれることになっている。

こちらの検討状況・準備状況について、報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V252b 小型 JASMINE 光学系に最適な性能評価関数

鹿島 伸悟、郷田直輝、小林行泰、矢野太平、上田暁俊、宇都宮真（国立天文台）、山田良透（京都大学）、安田進（JAXA）

小型 JASMINE では、非常に厳しい星像中心決定精度である $10\mu\text{as}$ を達成する必要があり、そのためには設計及び公差解析時の評価関数として、詳細な PSF 解析に基づく ensquared energy が必要となる。Ensquared energy というのは、ある矩形領域に含まれるエネルギーのことであり、従来より用いられている「ある円内に含まれるエネルギー」である encircled energy を矩形に拡張したものである。昨今の天文観測に用いられる検出器は CCD 等に代表されるように正方形のピクセルが並んでおり、そこに入射するエネルギー（光子）を電気エネルギーに変換するものが主であるため、それに合わせて ensquared energy が広く使われるようになってきた。

小型 JASMINE では、PSF 径は波長に応じて 3×3 から 5×5 ピクセルにまたがり、読み出しは 9×9 ピクセル程度を考えている。高精度星像位置検出には、できるだけ多くの光子を得ることと、それ以上に PSF 幅の分散が小さいことが重要である。光子数だけを考える場合は、実際に読み出す広い領域での ensquared energy を評価対象とすれば良いが、それでは PSF 幅の分散が評価できない。逆に、PSF 幅の分散を評価するには 1×1 や 3×3 といった狭い領域での ensquared energy が重要となる。評価対象が複数あると評価がし難いため、そのバランスを考慮したピクセル領域を求め、その領域での ensquared energy を設計及び公差解析の評価関数とすべきである。

本発表では、上記光子数と PSF 幅の分散両方をバランス良く評価できるピクセル領域の計算方法に関して詳細に報告する。また、これまでは副鏡による円形遮蔽しか考慮していなかった瞳関数に、副鏡を支える支持構造（スパイダ構造）も考慮した。更に、いわゆるコサイン 4 乗則に関する考察も行ったので、これらについても報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V253b 小型 JASMINE 衛星の要素検証実験について

上田暁俊、小林行泰、宇都宮真、鹿島伸悟、矢野太平、郷田直輝 (国立天文台)、山田良透 (京大理)、間瀬一郎 (次世代宇宙システム技術研究組合)、山口耕司 (オービタルエンジニアリング)、小型 JASMINE ワーキンググループ

JASMINE は、次期位置天文観測衛星の名称であり、 H_W 帯で、銀河中心領域の星の年周視差を $10 \sim 20 \mu\text{as}$ 、固有運動を $10 \sim 50 \mu\text{as}/\text{Year}$ の精度で決定することを目標としている。

衛星軌道は、高度約 550 km の太陽同期軌道を想定している。そのため、季節や観測対象によって、衛星の温度が変化する。

この衛星に搭載される検出器は、アストロメトリ用に $4\text{K} \times 4\text{K}$ 素子の HAWAII-4RG、測光用に $1\text{K} \times 1\text{K}$ の HAWAII-RG、計 3 個であり、その運用温度は 180K である。観測運用中、検出器は 180 K 以下にまで冷却し、年間を通じて 0.7 K 以下の温度安定性を達成させる。常温から運用温度間で、検出器が収納された検出器ボックスの熱変形により、検出器と望遠鏡間に生ずるミスアライメントを最小限に抑える必要がある。また、望遠鏡などから発生する迷光による影響を、最小に抑える必要がある。JASMINE 実現の為に、これら技術の開発検証を行っており、講演ではこれらについて報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V254c Nano-JASMINE:現状とFDCCDのPRF測定

小林行泰, 上田暁俊, 矢野太平, 郷田直輝 (国立天文台), 酒井伊織 (東大理), 山田良透 (京大理)

Nano-JASMINE は口径 5cm の超小型位置天文衛星である。ESA と共同して 2018 年には高度 800km の太陽同期軌道に打ち上げ、観測を開始する予定となっている。本講演では Nano-JASMINE 衛星の現状についてと、2012 年から続けてきている Nano-JASMINE 衛星搭載の浜松ホトニクス社製完全空亡型 CCD の Pixel Responce Function (PRF) の測定について報告する。

Nano-JASMINE では全天の主に 9 等級より明るい星の位置天文観測を行う。7.5 等級の星については最終的に 3 ミリ秒角の位置決定精度を期待しているが、これはピクセルに換算すると千分の一ピクセルに近いものになる。一方、軌道上での宇宙放射線の影響で CCD の転送性能が劣化することが確認されている。転送性能が劣化すると、星像の形状に尾を引いたりなどの形状の変化が現れ、位置決定精度に影響を及ぼす恐れがある。

そこで、ピクセル応答関数を精密に測定し、望遠鏡の星像プロファイルに、たとえば転送性能、望遠鏡の追尾誤差などを付け加えることにより実際の衛星からの出力をシミュレーションすることを試みる。これらのシミュレーションにより、位置決定のための必要な補正項の導出、位置決定精度の評価などを行う。ピクセル応答関数の測定にあたって、微小光源を用いるが微小光源像のプロファイルは直接ピクセル応答関数に反映される。今回は多波長での測定を追加し、PRF に関わる、CCD の物理的なパラメータ、動作温度、波長、逆バイアス電圧、光量など、を用いてより精度良く推定できるようになった。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V255b 宇宙赤外線背景放射の観測用ロケット実験 CIBER-2：望遠鏡試験

高橋 葵 (総合研究大学院大学)、児島 智哉、太田 諒、松浦 周二 (関西学院大学)、津村 耕司 (東北大学)、松本 敏雄 (ISAS/JAXA)、Shiang-Yu Wang (ASIAA)、武山 芸英、江野口 章人、金井 美一、白旗 麻衣、新井 俊明 (株式会社ジェネシア)、佐野 圭 (東京大学)、大西 陽介 (東京工業大学)、James Bock (Caltech/JPL)、CIBER-2 チーム

我々は、日米韓台の国際協力のもと、宇宙赤外線背景放射の空間的ゆらぎと放射スペクトルを高精度に観測するロケット実験 CIBER-2 (Cosmic Infrared Background Experiment 2) プロジェクトを進めている。CIBER-1 で発見したゆらぎ成分に対する銀河ハロー浮遊星仮説を検証するとともに、宇宙再電離期の放射の検出を目指す。

CIBER-2 の望遠鏡は、口径 28.5 cm のリッチー・クレチアン式の液体窒素冷却望遠鏡である。冷却に伴う熱収縮によるひずみを最小限に抑えるため、主鏡と副鏡を含む望遠鏡システムのほぼ全てをアルミニウムを用いて製作する。望遠鏡の後方部には、宇宙赤外線背景放射の観測に重要な波長 $0.5 - 2.0\mu\text{m}$ をカバーする広視野撮像装置 ($2.3 \times 2.3 \text{ deg}^2$) を搭載する。本装置には測光フィルタを組み込み、一挙に 6 バンドでの宇宙赤外線背景放射のゆらぎ観測を実現させるほか、視野の一部にリニアバリアブルフィルタを追加し、宇宙赤外線背景放射のスペクトル観測も同時に行うことを可能とした。

現在、望遠鏡の低温での結像性能を評価すること、及び打ち上げ時の振動環境に耐えることの検証を計画している。前者は大型チャンバーとオートコリメータを用いて評価する。後者は、試験モデルの望遠鏡を製作し、有限要素法による振動解析を行った上で、実際の振動試験の結果と比較検証する。本講演では、これらの試験の準備状況とプロジェクト全体の進捗状況について述べる。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V256a SPICA（次世代赤外線天文衛星）計画の進捗状況

芝井 広(大阪大), 小川博之, 中川貴雄, 松原英雄, 山田 亨 (JAXA), 尾中 敬, 河野孝太郎 (東京大), 金田英宏 (名古屋大), 他 SPICA チームメンバー

SPICA (Space Infrared Telescope for Cosmology and Astrophysics) は、あかり、Spitzer、Herschel の成功を受けて、日欧共同で推進しているスペース大型極低温冷却赤外線望遠鏡である。口径 2.5m の望遠鏡を 8K まで冷却し、波長 12-230 ミクロンをカバーする高感度の分光機能（一部撮像機能）を持つ。中間赤外線から遠赤外線にかけてきわめて高い感度が期待でき、JWST と ALMA の間の波長帯で、銀河の成長・進化や惑星系形成過程その他の、豊かで多様な宇宙をもたらした重元素に関わる天体・現象を、高感度赤外線分光によって研究することを主目的とする。期待される科学的成果については、JAXA 宇宙研が設置した国際科学アドバイザーボード（4 月）で高い価値があるとの評価を受けた。SPICA は日欧協同のスペースミッションとして、ESA コスミックビジョンの M クラスに提案される予定である。望遠鏡本体と衛星バス機器は ESA が、冷却系（機会式冷凍機 + 放射冷却）は JAXA が担当し、2027-2028 年に H3 ロケットでの打ち上げを目指す。軌道上運用で 3 年間以上運用し、TMT や ALMA 等との連携観測・研究も含め、太陽系まで含めた宇宙の天体形成・成長史においてかけがえのない研究成果が得られると期待される。日本が製作する中間赤外線装置（SMI）、欧米研究機関が製作する遠赤外線装置（SAFARI）については別の講演を参照されたい。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V257a SPICA 搭載 中間赤外線観測装置 SMI : ESA M5 提案に向けた仕様の確定

金田 英宏、石原 大助、大藪 進喜、鈴木 仁研、深川 美里（名古屋大学）、和田 武彦、川田 光伸、浅野 健太郎、中川 貴雄、松原 英雄（ISAS/JAXA）、左近 樹（東京大学）、津村 耕司（東北大学）、芝井 広、松尾 太郎（大阪大学）、磯部 直樹（東工大）、SMI コンソーシアム、SPICA プリプロジェクトチーム

次世代赤外線天文衛星計画 SPICA は、日欧協力のもと、今秋の ESA Cosmic Vision M クラスへの提案に向けた準備が進められている。日本が担当する中間赤外線観測装置 SMI (SPICA Mid-infrared Instrument) は、欧州がリードする遠赤外線観測装置 SAFARI と合せて日欧間で議論を深め、ESA M5 プロポーザルに向けた仕様の確定を行った。その結果、SMI は、(1) 広視野低分散 (比波長分解能 $R = 50 - 120$; 波長 $17 - 36 \mu\text{m}$; 中心波長 $34 \mu\text{m}$ ワイドバンド撮像機能付き)、(2) 高感度中分散 ($R = 1300 - 2300$; 波長 $18 - 36 \mu\text{m}$)、および、(3) 高感度高分散 ($R = 28000$; 波長 $12 - 18 \mu\text{m}$) の3つの特徴的な分光チャンネルを有する観測装置として、M5 プロポーザルに提案することとなった。これらの機能は、「PAH バンドなどを用いた、星生成銀河の進化史の全容解明」や、「水素分子や水分子ガス輝線、鉱物バンドを用いた、惑星系形成過程の理解」といった SPICA の主科学テーマにおいて重要な役割を果たすことが期待される。

現在は、SPICA の科学要求から導かれる装置性能を満足させるべく、各チャンネルに対して、光学・構造設計を急ピッチで進めている。本講演では、ESA Cosmic Vision M5 プロポーザルの内容に基づく装置設計・仕様を報告し、SMI の主科学テーマを紹介する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V258a **A SPICA far-IR spectrometer SAFARI toward ESA M5 proposal**

土井 靖生 (東大総文), Peter R. Roelfsema and the SAFARI consortium

SAFARI (Spica FAR-infrared Instrument) is a powerful spectrum mapping machine that covers 34–230 μm , where we can observe many important gas diagnostic lines of distant galaxies and reveal their evolutionary histories. A grating spectroscopy mode with $R \sim 300$ achieves a high sensitivity of $6 \sim 8 \times 10^{-20} [\text{Wm}^{-2}]$, which enables us to study not only exotic bright galaxies but also main-stream galaxies from $z \simeq 3$ to the present. By adding a Martin-Puplett Fourier spectrometer to its optical path, SAFARI achieves higher spectral resolutions of $R = 11000$ (34 μm) to $R = 1500$ (230 μm) with a comparable sensitivity of $1 \times 10^{-19} [\text{Wm}^{-2}]$ to its base spectroscopy mode. SAFARI has three sky pixels with one on-target and two reference sky pixels, and each of them can map $\sim 2' \times 2'$ area of the sky by using a beam-steering mirror with a fixed satellite attitude. With a combination of SPICA's low-temperature ($< 8\text{K}$) telescope, thus SAFARI is efficient to observe spatially extended sources (e.g., nearby galaxies). TES detector with ultra-low noise ($\text{NEP} < 2 \times 10^{-19} [\text{W}/\sqrt{\text{Hz}}]$) is the key technology item to achieve the ultra-high sensitivity of SAFARI. Detector arrays are being tested for the successful signal read-out of total ~ 3300 TES pixels.

We present the details of the instrument specifications to be proposed as the candidate ESA M5 mission.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

【V3. 観測機器】

9月14日(水) 午後(15:36-17:00) [E会場]

V301a	15:36	地球磁気圏 X 線可視化計画 GEO-X の検討現状 石川久美 (宇宙航空研究開発機構)
V302a	15:48	SOI 技術を用いた新型 X 線撮像分光器の開発 16: 裏面照射型 X 線 SOI ピクセル検出器の軟 X 線性能評価 林秀輝 (京都大学)
V303a	16:00	SOI 技術を用いた新型 X 線撮像分光器の開発 17: Double-SOI 構造の P 型基板センサーの性能評価 伊藤真音 (京都大学)
V304a	16:12	SOI 技術を用いた新型 X 線撮像分光器の開発 19: これまでの到達点と今後の開発 鶴剛 (京都大学)
V305b	16:24	SOI 技術を用いた新型 X 線撮像分光器の開発 15: X 線 TID 効果の測定 西岡祐介 (宮崎大学)
V306b	16:24	SOI 技術を用いた新型 X 線撮像分光器の開発 18: サブピクセルレベルでの X 線性能評価 玉澤晃希 (東京理科大学)
V307b	16:24	TES 型 X 線マイクロカロリメータを用いた高精度分光システムの構築 (3) 星野晶夫 (立教大学)
V308a	16:36	MeV ガンマ線撮像カメラ ETCC の改良と南半球気球実験計画 水村好貴 (京都大学)
V309a	16:48	鉄 K α 線付近のエネルギー帯における大有効面積 X 線望遠鏡の開発 (II) 小林洋明 (名古屋大学)
V310b	17:00	PRAXyS 搭載用 X 線望遠鏡のためのサーマルシールドの開発 田原譲 (名古屋大学)
V311b	17:00	ISS 搭載を目指した GRB 偏光度検出器 LEAP のエンジニアリングモデルの開発 上田達也 (山形大学)

9月15日(木) 午前(09:30-11:06) [E会場]

V312a	09:30	X 線天文衛星「ひとみ (ASTRO-H)」: 打ち上げとその後 高橋忠幸 (宇宙航空研究開発機構)
V313a	09:42	X 線天文衛星「ひとみ (ASTRO-H)」搭載軟 X 線望遠鏡 (SXT) の軌道上での性能評価 Yoshitomo Maeda (宇宙航空研究開発機構)
V314a	09:54	「ひとみ (ASTRO-H)」搭載軟 X 線望遠鏡に用いる反射鏡の反射率測定 中庭望 (首都大学東京)
V315a	10:06	X 線天文衛星「ひとみ (ASTRO-H)」搭載硬 X 線望遠鏡 (HXT) の軌道上での性能評価 粟木久光 (愛媛大学)
V316a	10:18	ASTRO-H 搭載 精密軟 X 線分光装置 SXS の開発の現状 XVI 辻本匡弘 (宇宙航空研究開発機構)
V317a	10:30	「ひとみ (ASTRO-H)」搭載 SXS 超流動ヘリウム排気系の軌道上性能 江副祐一郎 (首都大学東京)
V318a	10:42	「ひとみ (ASTRO-H)」搭載 SXS の波形処理装置の軌道上性能 石崎欣尚 (首都大学東京)
V319b	10:54	「ひとみ (ASTRO-H)」搭載 アラインメントモニタシステム (AMS) の軌道上性能評価 飯塚亮 (宇宙航空研究開発機構)
V320b	10:54	「ひとみ (ASTRO-H)」搭載 SXS の軌道上での観測スペクトルを用いた応答関数の評価 佐藤浩介 (東京理科大学)
V321b	10:54	「ひとみ (ASTRO-H)」搭載 SXS の高エネルギー帯域スペクトルの較正 瀬田裕美 (首都大学東京)
V322c		「ひとみ (ASTRO-H)」搭載 SXS 用デジタル波形処理器の地上試験での時刻精度の検証 加藤優花 (埼玉大学)
V323b	11:06	「ひとみ (ASTRO-H)」搭載 精密軟 X 線分光装置 (SXS) の軌道上における Crab Pulsar を用いた時刻較正 小山志勇 (宇宙航空研究開発機構)
V324b	11:06	宇宙 X 線観測用マイクロカロリメータのセンサ熱浴温度計測に対する軌道上宇宙線擾乱と、信号処理によるその影響の低減 澤田真理 (青山学院大学)

(次頁に続く)

【V3. 観測機器】

9月15日(水) 午後(13:30-15:30) [E会場]

V325a	13:30	X線天文衛星「ひとみ (ASTRO-H)」搭載軟X線撮像検出器 SXI の軌道上性能と較正の現状 森浩二 (宮崎大学)
V326b	13:42	X線天文衛星「ひとみ (ASTRO-H)」搭載軟X線撮像検出器 SXI の軌道上較正: 光漏れイベントの原因追求とその対策 内田裕之 (京都大学)
V327b	13:42	X線天文衛星「ひとみ (ASTRO-H)」搭載軟X線撮像検出器 SXI の軌道上較正: クロストーク起源の疑似イベント発生とその対策 安田賢杜 (宮崎大学)
V328b	13:42	X線天文衛星「ひとみ (ASTRO-H)」搭載軟X線撮像検出器 SXI の軌道上較正: バックグラウンドと検出効率 井上翔太 (大阪大学)
V329b	13:54	X線天文衛星「ひとみ (ASTRO-H)」搭載軟X線撮像検出器 SXI の軌道上較正: ゲインとレスポンス 坂田美穂 (宮崎大学)
V330b	13:54	X線天文衛星「ひとみ (ASTRO-H)」搭載機器の解析ソフトウェアの開発 寺田幸功 (埼玉大学)
V331a	14:06	X線天文衛星「ひとみ (ASTRO-H)」搭載硬X線撮像検出器 (HXI) の軌道上動作 萩野浩一 (宇宙航空研究開発機構)
V332a	14:18	X線天文衛星「ひとみ (ASTRO-H)」搭載軟ガンマ線検出器 (SGD) の軌道上動作 深沢泰司 (広島大学)
V333a	14:30	「ひとみ (ASTRO-H)」搭載硬X線軟ガンマ線検出器における BGO アクティブシールドの軌道上性能 大野雅功 (広島大学)
V334a	14:42	「ひとみ (ASTRO-H)」搭載 SGD の BGO シールドを用いたガンマ線バースト位置決定能力の評価 田中晃司 (広島大学)
V335a	14:54	ALPACA 実験 1: ALPACA 実験計画概要 大西宗博 (東京大学)
V336a	15:06	Cherenkov Telescope Array (CTA) 計画: 全体報告 (11) 窪秀利 (京都大学)
V337b	15:18	CTA 大口径望遠鏡初号機用カメラの最終デザイン 猪目祐介 (甲南大学)
V338b	15:18	CTA 大口径望遠鏡初号機建設に向けた光学系最終デザインと品質管理 林田将明 (東京大学)

9月16日(金) 午前(09:30-11:30) [E会場]

V339a	09:30	小型衛星計画 DIOS 搭載 4 回反射 X 線望遠鏡開発の現状 萬代絢子 (名古屋大学)
V340a	09:42	4 回反射を用いた大有効面積 X 線望遠鏡の提案 馬場崎康敬 (名古屋大学)
V341a	09:54	FORCE 高角度分解能硬 X 線望遠鏡に向けた、成膜による変形の克服 佐治重孝 (名古屋大学)
V342a	10:06	X 線多重像干渉計の概念検討と基礎実験 林田清 (大阪大学)
V343a	10:18	湾曲結晶鏡の X 線分光実験及び評価 鈴木涼太 (中央大学)
V344a	10:30	X 線偏光観測衛星 PRAXyS の進捗状況 玉川徹 (理化学研究所)
V345a	10:42	硬 X 線偏光検出器 PoGOLite 気球実験:2016 年の再フライト 高橋弘充 (広島大学)
V346a	10:54	硬 X 線偏光検出器 PoGOLite の読み出し回路の改良 (2) 大橋礼恵 (広島大学)
V347a	11:06	ガンマ線バーストを用いた初期宇宙探査計画 HiZ-GUNDAM の進捗 (5) 米徳大輔 (金沢大学)
V348a	11:18	超小型衛星搭載を目指した重力波同期 X 線撮像検出器の撮像システム開発 加川保昭 (金沢大学)

V301a 地球磁気圏 X 線可視化計画 GEO-X の検討現状

石川 久美 (ISAS/JAXA)、江副 祐一郎 (首都大)、三好 由純 (名古屋大)、笠原 慧 (ISAS/JAXA)、木村 智樹 (理研)、満田 和久、藤本 正樹 (ISAS/JAXA)、大橋 隆哉 (首都大)、他 GEO-X チーム

地球磁気圏 X 線可視化計画 GEO-X は、高解像度かつ高時間分解能な地球磁気圏撮像を目指したミッションである。地球磁気圏では、太陽風中の酸素などの多価イオンとジオコロナと呼ばれる 10 地球半径以上に広がる地球の超高層大気中の水素原子などとの電荷交換反応による X 線輝線が観測されている (Snowden et al. 1994, Fujimoto et al. 2007, Ezoe et al. 2009 など)。X 線輝線放射は、磁気圏境界層のような太陽風の密度が高く、またジオコロナの密度も高い場所で強く放射されると予想されている。つまり、X 線放射を観測することで、磁気圏と太陽風の相互作用によって変動する境界層の形状を、かつてない高解像度 (<0.1 地球半径)、高時間分解能 (<1 時間以下) のイメージとして捉えることが可能となる。これは従来の磁気圏観測衛星による「その場」観測で得られる詳細情報と相補的であり、磁気圏観測に新手法をもたらすと期待されている。

我々は、コンパクトな X 線撮像分光装置の開発と、50 kg クラスの超小型衛星搭載に向けた検討を進めている。目指す仕様は、視野 4 deg 、角度分解能 10 分角以下、エネルギー範囲 0.3–2 keV であり、中視野で、細かい構造の分解が可能であるという特徴を持つ。観測装置は、独自にマイクロマシン技術を用いて開発を行っている超軽量 X 線望遠鏡とピクセル型の半導体検出器を組み合わせた、軽量 (約 10 kg) かつコンパクト (約 30 cm 立方)、省電力 (約 10 W) な設計を検討している。本講演では装置開発の現状や将来計画の見通しについて紹介する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V302a

SOI技術を用いた新型 X 線撮像分光器の開発 16: 裏面照射型 X 線 SOI ピクセル検出器の軟 X 線性能評価

林秀輝, 鶴剛, 田中孝明, 内田裕之, 武田彩希, 松村英晃, 伊藤真音, 大村峻一 (京都大学), 中島真也 (ISAS), 新井康夫, 三好敏喜, 倉知郁生 (KEK), 森浩二, 竹中亮太, 西岡祐介, 武林伸明, 野田向輝 (宮崎大学), 幸村孝由, 玉澤晃希, 小澤祐亮, 佐藤将 (東京理科大学), 川人祥二, 香川景一郎, 安富啓太, 亀濱博紀, Sumeet Shrestha (静岡大学電子工学研究所), 吉岡献太郎 (天谷製作所)

我々は、次世代の X 線天文衛星「FORCE」搭載予定である X 線照射用 SOI ピクセル検出器「XRPIX」を開発している。XRPIX は、SOI(Silicon On Insulator) 技術を用いた検出部・読み出し回路一体型の検出器である。各ピクセルにヒットタイミングを出力させるイベントトリガー機能を備えることで、 $\sim 10 \mu\text{s}$ の時間分解能を実現する。これは、X 線 CCD の時間分解能 \sim 数 s を大きく上回り、非 X 線バックグラウンドを除去する反同時計数法を用いることができる。このことにより、XRPIX は 0.5–40 keV の広帯域撮像分光を実現する。

XRPIX の表面には $10 \mu\text{m}$ 程度の回路層が存在するため、不感層の薄い裏面照射型素子の開発が必須である。我々の不感層厚の要求性能は $1 \mu\text{m}$ であり、最終目標は $0.1 \mu\text{m}$ としている。我々は、これまでに、XRPIX2b と呼ばれる素子に 2 種類の方法で裏面処理を行った。不感層厚を計測すると $1.1\text{--}1.5 \mu\text{m}$, $0.9\text{--}1.0 \mu\text{m}$ であった。要求性能を満たしているものもあるが、確実に要求性能を満たし、最終目標に向かってさらなる性能向上を目指したい。そこで、今回、同じ XRPIX2b に対して CVD という異なる方法の裏面処理を施した。様々なエネルギーの X 線をこの素子に照射し、各エネルギーでの量子効率を求めることで、不感層厚を実測した結果を評価する。また、暗電流の測定も行い、CVD 処理を行った裏面からの暗電流起源ノイズについて評価する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V303a **SOI技術を用いた新型 X 線撮像分光器の開発 17:Double-SOI 構造の P 型基板センサーの性能評価**

伊藤真音, 鶴剛, 田中孝明, 武田彩希, 内田裕之, 松村英晃, 大村峻一, 林秀輝 (京都大学), 中島真也 (JAXA), 新井康夫, 倉知郁生, 三好敏喜 (KEK), 森浩二, 西岡祐介, 武林伸明, 横山聖真 (宮崎大学), 幸村孝由, 玉澤晃希, 小澤祐亮, 佐藤将 (東京理科大学), 川人祥二, 香川景一郎, 安富啓太, 亀濱博紀, Sumeet Shrestha (静岡大学), 原和彦, 本多俊介 (筑波大学)

X 線天文を牽引してきた CCD は読み出し時間が数秒であるため、反同時計数法を採用できない。そのため、軌道上の宇宙線起源である非 X 線バックグラウンドが 10 keV 以上で高く、そのバンドは観測できなかった。そこで、我々は、SOI(Silicon On Insulator) 技術を用いた X 線ピクセル検出器「XRPIX」を開発している。XRPIX は、X 線が入射したピクセルのみを選択的に読み出すイベント駆動読み出しによって、数マイクロ秒という時間分解能を達成できる。しかし、イベント駆動時に作動するコンパレータ回路がセンサー部へ容量性の電氣的干渉を起すため、分光性能は著しく劣化する問題があった。その干渉切断を目的に、センサー部と回路層を挟む SiO₂ 層中にシールド機能を持つ Si 層を新たに形成した Double-SOI 構造の素子を開発した。その中間 Si をシールドとして動作させることに成功し、その際、中間 Si の電圧には条件があることが分かった [1]。以上はセンサーのダイオードに N 型基板を用いたホール収集型 XRPIX で実現した。現在、XRPIX シリーズでは初めて P 型基板を用いた電子収集型 XRPIX の開発を進めている。今回、分光性能の観点から、センスノード後段の回路に反転増幅回路を搭載した Double-SOI 構造の XRPIX を開発した。本講演では、素子の性能評価結果を報告する。

[1] Ohmura et al., 2016, NIM A, In Press

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V304a SOI技術を用いた新型 X線撮像分光器の開発 19:これまでの到達点と今後の開発

鶴剛, 伊藤真音, 大村峻一, 林秀樹, 松村英晃, 武田彩希, 内田裕之, 田中孝明 (京都大学), 中島真也 (JAXA/ISAS), 新井康夫, 三好敏喜, 倉知郁生 (KEK), 森浩二, 西岡祐介, 武林伸明, 横山聖真, 新井真弥, 坂倉聖奈, 福田昂平 (宮崎大学), 幸村孝由, 玉澤晃希, 小澤祐亮, 佐藤将 (東京理科大学), 川人祥二, 香川景一郎, 安富啓太, 亀濱博紀, Sumeet Shrestha (静岡大学)

すでに講演があった通り, SOI技術を利用した X線撮像分光検出器「X線 SOIPIX」の開発を行っている. SOIPIX は日本独自の技術であり, 世界が真似のできない高い性能を持つユニークな検出器の実現が可能である. 私たちは, X線 CCD の持つ撮像分光能力をそのまま持った上で, 各ピクセルに閾値回路とトリガ出力機能を持つことで, $10\mu\text{sec}$ よりも高い時間分解能を実現し, 非同時計測を行うことで 20keV で CCD の 2 桁以下の低い非 X線バックグラウンドを実現する. 開発は 2008 年度から開始し, 今年度で 8 年目である. これまでに, 時間分解能 ($10\mu\text{sec}$), スループット (2kHz), ピクセルサイズ ($30 - 60\mu\text{m}$), 厚い空乏層 ($> 250\mu\text{m}$) はすでに実現済みであり, 大型素子 (25mm 角) 開発の取り組みも進んでいる. 薄い裏面不感層の開発は昨年度から開始したところであり, 要求仕様 ($1\mu\text{m}$) は達成の見込みを得ている. 当初より最大の難関だと認識していた読み出しノイズは, 現在フレーム読み出しで 35e(rms) であり, 本命のイベント駆動では $\sim 150\text{e(rms)}$ である. これに対してデバイス構造に改良により, デジタル回路とセンスノードの容量結合の最小化, センスノードの寄生容量を最小化によるゲインの向上, ピクセル回路の最適化による回路ノイズの最小化, を行っている. 本講演では, この 8 年間の開発を振り返り, 今後の見通しを述べる.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V305b **SOI技術を用いた新型 X 線撮像分光器の開発 15 : X 線 TID 効果の測定**

西岡祐介, 森浩二, 武林伸明, 横山聖真, 新井真弥, 坂倉聖奈, 福田昂平 (宮崎大学), 鶴剛, 田中孝明, 武田彩希, 内田裕之, 松村英晃, 伊藤真音, 大村峻一, 林秀輝 (京都大学), 新井康夫, 倉知郁生 (KEK), 中島真也 (JAXA), 幸村孝由, 玉澤晃希, 小澤祐亮, 佐藤将 (東京理科大学)

我々は、Silicon On Insulator (SOI) 技術を用いることで厚いセンサー層と高速の読み出し回路を一体構造として実現した X 線 SOI CMOS ピクセル検出器「XRPIX」を開発している。放射線耐性の観点から、この構造では各トランジスタ素子が SiO₂ 層によりセンサー層と区切られているため、シングルイベント効果には高い耐性を持つ。一方で、その SiO₂ 層が長時間の放射線照射によりチャージアップすることで素子の特性に影響を及ぼす。この TID (Total Ionizing Dose) 効果の評価が、SOI CMOS では重要になる。一体型の SOI MOSFET を用いた X 線照射による TID 効果の測定は過去におこなわれ、100 krad 相当の照射においてもトランジスタ特性は保持されていた。この吸収線量の値は、XRPIX の軌道上での利用 (≤10 krad) に鑑みて十分に大きな値である。一方で、XRPIX は SOI CMOS センサーであり、X 線撮像分光素子として用いられるので、その分光性能特性という観点から TID 効果の影響を評価する必要がある。

我々は、今回、XRPIX シリーズの XRPIX2b に対して X 線 TID 効果の測定をおこなった。我々は Mo ターゲットを用いた X 線発生装置を利用して 25 krad 相当の吸収線量を照射させ、リーク電流、読み出しノイズ、ゲイン、エネルギー分解能等の性能の変化を調べた。その結果、10krad 相当の X 線を照射後からいくつかの項目で性能の変化が現れることが分かった。本講演では、その詳細を報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V306b **SOI技術を用いた新型X線撮像分光器の開発 18:サブピクセルレベルでのX線性能評価**

玉澤晃希, 居原田興祐, 小木曾拓, 大野顕司, 根岸康介, 鏑田敬吾, 幸村孝由 (東京理科大学), 鶴剛, 田中孝明, 武田彩希, 内田裕之, 松村英晃, 伊藤真音, 大村峻一, 林秀輝 (京都大学), 森浩二, 西岡祐介, 武林伸明, 横山聖真 (宮崎大学)

我々は、次世代のX線天文衛星に搭載するSOI技術を用いたイベント駆動型ピクセル検出器(X線SOIPIX)であるXRPIXを開発している。XRPIXは、反同時計測を可能にするために各ピクセルにイベントトリガー出力機能やノイズを低減するためにCDS機能を兼ね備え、広いエネルギー帯域観測(0.5~40 keV)を高い時間分解能(数 μ s)で観測を行うことを目標としている検出器である。

Matsumura et al (2015)により、XRPIXシリーズの初期のものであるXRPIX1bにおいて、ピクセルの境界付近に電荷収集効率が低くX線の検出効率が相対的に低い場所があることが分かった。これらは共に、ピクセル回路の電位によりセンサー層内の電場構造が歪められたことによって生じた電荷損失が原因であったが、シミュレーション結果より、この電場構造の歪みは、ピクセル回路をBPW(Buried P-Well)に沿って配置することで改善することが分かった。そこで我々はピクセル回路の配置を改良したXRPIX2bを開発し、ピクセル内でX線の検出効率のバラツキの程度が改善しているか検証実験を行った。実験は、高エネルギー加速器研究機構のBL-11Bにおいて実施し、 $\phi=10\mu$ mまで絞ったビームをXRPIX2bに対し 6μ mピッチで 5×5 の領域に照射し、X線の検出数を比較したところ、バラツキが最大でも30%程度と抑えられていることが分かった。

[1] Matsumura et, al., NIM A, 794 (2015) 255

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V307b TES型 X線マイクロカロリメータを用いた高精度分光システムの構築(3)

星野晶夫, 今井健人, 上田翔太, 小仁所亜美, 持田葵, 北本俊二 (立教大学)

宇宙科学において電荷交換反応を観測することは、高温ガスの境界領域の構造、とりわけ相対速度や実際に起こっている攪拌作用を研究する上で新しい観測窓を提供することになる一方、太陽系外や銀河系外の天体からの放射を観測する場合には、前景放射となる電荷交換反応由来の放射光の精密な分離が不可欠である。これらの問題へのアプローチとして、私たちは超伝導遷移端を動作点とする非分散型極低温 X線センサーである TES 型 X線マイクロカロリメータの特徴を活かした地上での高精度 X線分光システムの構築によって、電荷交換反応輝線の精密分光による地上較正のほか将来に向けた X線干渉計計画の撮像センサーとしての応用を目指している。

我々は、2段パルスチューブ冷凍機と断熱消磁冷凍機の組み合わせによって無冷媒で極低温環境を実現しセンサー動作環境として利用することを進めてきた。これまでに、我々は熱スイッチ開発 (2013年秋季年会), CrK ミョウバンを用いた磁性体カプセル製作 (2016年春季年会) を進めてきており、今回これらを実際に断熱消磁冷却に使用した。評価実験は 2.9K の熱浴から断熱消磁冷却を行うことで励消磁時間約 1 時間で到達温度 180 mK という結果を得た。最低到達温度は、熱浴温度と磁性体への熱スイッチを通じた $5\mu\text{W}$ の熱負荷によって制限されている。我々は次のステップとして多層断熱材の導入による輻射環境の改善とガード塩による磁性体への熱負荷の低減狙って準備を進めており現状についても報告したい。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V308a MeVガンマ線撮像カメラ ETCC の改良と南半球気球実験計画

水村好貴, 谷森達, 高田淳史, 古村翔太郎, 岸本哲朗, 竹村泰斗, 吉川慶, 中増勇真, 中村優太, 谷口幹幸, 水本哲矢, 園田真也, 窪秀利, 松岡佳大, 宮本奨平, 中村輝石, Parker Joseph, 友野大 (京都大学), 黒澤俊介 (東北大学), 身内賢太郎 (神戸大学), 澤野達哉 (金沢大学)

MeVガンマ線は宇宙での元素合成が直接観測できる唯一の窓であり超新星爆発や銀河進化の系統的研究、また銀河核ガンマ線は宇宙線起源の決定打となり重要問題解決が期待できる。しかし画像取得法の不明確な系統誤差と高雑音環境の2大困難のため、世界的に地上試験と軌道上での観測性能が一致しない状況が続き、天文学として停滞している。我々は電子飛跡検出型コンプトンカメラ (ETCC) を開発し、MeVガンマ線の到来方向2角の測定に成功し世界で初めてクリアな Point Spread Function (PSF) を定義した。これにより将来の衛星規模装置で、Half Power Radius (HPR) が1-2度のPSF実現と3桁の雑音抑制を可能にし、MeVガンマ線望遠鏡が目指す1 mCrab感度の実現性を示した。現在保有中のSMILE-II用ETCCに、ガス種ガス圧の変更による有効面積の5倍以上の増大および、シンチレーターをガス層内部に入れ反跳電子の測定エネルギー範囲を拡張する改良を加えることで、気球実験規模の装置でHPRが5度程度のPSFを実現する。この改良装置を用いてJAXA豪州気球観測 (SMILE-II+) により銀河中心からの電子陽電子対消滅線 (511 keV) マップを得て、上空でPSFが劣化しない世界初のMeVガンマ線イメージングスペクトロスコープを実証する。また、本実験では ^{26}Al の崩壊ガンマ線 (1.8 MeV) の試験的観測も可能である。本報告では、SMILE-IIの開発で得られたガンマ線撮像に関する知見のまとめと、改良を進めるSMILE-II+の状況を報告し、南半球の気球実験で目指す物理を紹介する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V309a 鉄 $K\alpha$ 線付近のエネルギー帯における大有効面積 X 線望遠鏡の開発 (II)

小林洋明, 松本浩典, 田村啓輔, 三石郁之 (名古屋大学)

従来の全反射を用いた反射鏡では、臨界角よりも大きな角度で入射した X 線は反射されない。例えば、Pt の単層膜で 7 keV のエネルギーの臨界角は 0.67° であるため、焦点距離を 6 m に固定してしまうと口径が 52 cm 以上の部分ではほとんど X 線が反射せず有効面積の大きな向上は見込めない。一方、多層膜を利用した Bragg 反射ならば、臨界角よりも大きな入射角でも十分な反射率を得ることができる。したがって、大口径化による有効面積の増大が期待出来る。

本研究では、天体物理学に置いて重要な役割を果たす鉄 $K\alpha$ 線を含む 6.7 keV 付近で大有効面積の X 線望遠鏡の設計を多層膜を用いて検討した。反射鏡の配置として、反射鏡ごとに Bragg 条件を満たすエネルギーを変えて、6.4 keV, 6.7 keV, 6.9 keV の 3 つのエネルギーで反射率のピークを持つ反射鏡を入れ子にして配置することで Fe $K\alpha$ 線付近のエネルギー帯で高い有効面積を持つことを可能にしている。Pt/C, Ir/C 多層膜を用いると焦点距離 6 m、口径 110 cm の望遠鏡でひとみ搭載軟 X 線望遠鏡の 6 倍以上である 2500cm^2 (@6.7keV) 以上の有効面積を見込めることが分かった。(2014 年秋季天文学会 立花他)。本研究では、多層膜として Pt/C を用いて、口径と焦点距離を変えた場合に得られる有効面積を、光線追跡法により計算した。口径と焦点距離が決まれば、反射鏡の総ネスト数が決まる。反射鏡材料をアルミ、厚さ 0.2 mm、高さを 10 cm とすれば総重量も決まる。その結果、例としてひとみ搭載軟 X 線望遠鏡と同じ焦点距離 5.6 m の時に反射鏡の重量を 50 kg まで許すと口径は 90 cm で有効面積は 1930cm^2 @6.7 keV を見込めることが分かった。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V310b

PRAXyS 搭載用 X 線望遠鏡のためのサーマルシールドの開発

田原謙, 二村泰介, 菅沼亮紀, 三石郁之, 松本浩典 (名古屋大学), 玉川徹 (理研), 岡島崇 (NASA/GSFC)

PRAXyS は宇宙 X 線源からの X 線の偏光観測を高感度で行う、米国の小型 익스プローラーミッションである。現在は Phase A の予算が認められ開発が進んでいるが、日本からは検出器に用いられる GEM フォイルおよび X 線望遠鏡サーマルシールドの技術提供と、偏光観測のサイエンスの検討の両面で貢献すべく、共同開発に加わっている。このうちサーマルシールドは ASCA, Suzaku, Hitomi の各 X 線望遠鏡に用いられてきたものであり、高い X 線透過率を持ちながら、望遠鏡の軌道上温度環境を一様かつ地上室温程度に維持し、また必要となるヒータ電力を大幅に抑える上で重要なコンポーネントの一つである。PRAXyS では偏光観測のエネルギーの下限が約 2 keV 程度となっているため、サーマルシールド用フィルムの厚さは数ミクロンと比較的厚いものを使うことができる。一方打ち上げロケットの開頭時の空力加熱の影響がこれまでの日本のミッションより大きく、フィルムの温度が 200 度を超えることが予想されている。このため新たにポリイミドフィルムを用い空力加熱に耐えるサーマルシールド製作が課題となっている。本公演では従来より厚いフィルムに対応した開口効率の高いフィルム支持メッシュの設計・製作、接着剤を含めた耐熱性の実証実験、等の開発の現状について報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V311b ISS 搭載を目指した GRB 偏光度検出器 LEAP のエンジニアリングモデルの開発

上田達也, 郡司修一, 中森健之, 老川由馬, 高倉美華 (山形大理), J.Gaskin, S.Daigle, B.D.Ramsey, C.Wilson-Hodge (NASA/MSFC), M.McConnell, P.Bloser, J.Legere (UNH), R.D.Preece (UAH), 米徳大輔 (金沢大理), 三原建弘 (理研), 林田清 (阪大理), 岸本祐二, 岸本俊二 (KEK), 高橋弘充 (広大理), 谷津陽一 (東工大理), 當真賢二 (東北大理), 坂本貴紀 (青山学院大)

ガンマ線バースト (GRB) とは宇宙最大の爆発現象である。この爆発現象は現在に至るまで数多く観測されてきたが、未だ GRB のエネルギー輻射メカニズムが解明されていない。この輻射メカニズムを解明するのに、GRB から放出される硬 X 線の偏光度を測定することが有効な手段とされている。現在 GRB の輻射メカニズムとして 2 つの有力な候補が存在する。1 つは黒体輻射により偏光度が低くなる Photosphere モデル。もう 1 つがジェット中の磁場によってシンクロトロン放射が起こり、偏光度が高くなる Synchrotron モデルである。我々は GRB の偏光度を観測し、GRB の輻射メカニズムを解明するために、NASA/MSFC と UNH と共同で LEAP (Large Area Burst Polarimeter) 計画を開始した。そして現在 ISS 搭載を目標とし、コンプトン散乱型偏光度検出器を開発している。設計した検出器で偏光度情報が読み出せるか確認するために、昨年度設計した検出器の 1/4 サイズの試作機を製作し、ビーム実験を行うことで試作機の性能評価を行った。また今年度はフルサイズの検出器の製作を行っている。本講演では試作機のモジュレーションファクターや検出効率を説明し、またフルモデルを作る上で必要となったハードウェアの改良点を報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V312a X線天文衛星「ひとみ (ASTRO-H)」: 打ち上げとその後

高橋忠幸 (JAXA, 宇宙科学研究所), ほか「ひとみ」衛星チーム

X線天文衛星「ひとみ (ASTRO-H)」は、重さ 2.7 t、長さ 14 m と日本で最大級の科学衛星であり、国内の多くの大学・研究機関が参加し、NASA、ESA、SRON(オランダ)、CSA(カナダ)などとの国際協力の下に開発された。2008年のプロジェクト化以来、製造、試験が行われ、2016年2月17日に種子島宇宙センターより、H-IIA ロケット 30号機で打ち上げられた。打ち上げ後、衛星の電源、熱、そして姿勢制御系の立ち上げを行うとともに、軟X線分光検出器 (SXS) の立ち上げをおこない、地上試験と比べ遜色ない分光性能を確認した。2月28日には硬X線撮像検出器 (HXI) を乗せた伸展式光学ベンチの伸展が行われた。その後、軟X線撮像検出器 (SXI)、HXI、軟ガンマ線検出器 (SGD) の順に観測機器を立ち上げ、試験観測を行って、いずれも良好な性能を確認した。しかし、既報のように、3月26日に姿勢異常事象により通信途絶となり、4月28日には復旧運用を断念する事態となった。本講演では、打ち上げにいたる開発過程と、軌道上で示された衛星の性能評価をまとめ、衛星全体の立ち上げとその後について報告する。各搭載機器の状況について、この後に続く発表で詳しく報告する。また、短期間ながら優れた観測成果が得られており、それについては、銀河団のセッションにて報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V313a X線天文衛星「ひとみ (ASTRO-H)」搭載軟 X 線望遠鏡 (SXT) の軌道上での性能評価

前田良知, 石田学, 飯塚亮 (ISAS/JAXA), Peter Serlemitsos, Yang Soong, Takashi Okajima, Hideyuki Mori (NASA/GSFC), 林多佳由, 三石郁之, 松本浩典, 石橋和紀, 桜井郁也, 田村啓輔, 田原謙, 國枝秀世 (名古屋大), 栗木久光 (愛媛大), 古澤彰浩 (藤田保健衛生大), 宮澤拓也 (沖縄科技大), 杉田聡司 (東工大)、他「ひとみ」SXT チーム

X 線天文衛星「ひとみ (ASTRO-H)」は、口径 45cm/焦点距離 5.6m の軟 X 線望遠鏡 (Soft X-ray Telescope; HXT) を 2 台搭載している。反射鏡表面に金の単層膜を成膜し、全反射を利用して約 12 keV 程度まで広いエネルギーバンドで高い反射率を達成している。152-305 μm の薄い反射鏡をレプリカ法で製作し、同心円上に 203 枚配置することで高い集光力を達成している。二台の SXT はそれぞれ SXT-S, SXT-I と呼ばれ、それぞれ X 線カロリメーター検出器 (SXS: The Soft X-ray Spectrometer system), X 線 CCD カメラ (SXI : The Soft X-ray Imaging system) という異なる焦点面検出器に集光する。

衛星打ち上げ後の初期機能確認フェーズで幾つかの天体を観測し、SXS,SXI 両システムとも天体像を結んでいることがわかった。ASTRO-E,ASTRO-E2(すざく) と三機目で初めて X 線カロリメーター検出器に天体像を結んだことになる。SXI はその特徴の一つである広い視野に渡って像を結んでいることが確認できた。現在、取得した観測データを用いて、SXT の軌道上での性能確認を行っている。本講演では、地上較正試験の結果との比較も加えて、その現状について報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V314a 「ひとみ (ASTRO-H)」搭載軟 X 線望遠鏡に用いる反射鏡の反射率測定

中庭望, 佐藤寿紀, 菊地直道, 倉嶋翔 (首都大学東京), 飯塚亮, 前田良知, 石田學 (ISAS), 岡島崇, 森英之, 林多佳由 (GSFC), 他 the ASTRO-H SXT team

ASTRO-H には軟 X 線帯 (0.3 ~10 keV) の集光を担う軟 X 線望遠鏡 (SXT) が 2 台搭載されている。SXT は焦点を共有する初段の回転放物面鏡と二段目の回転双曲面鏡で二回反射させて X 線を集光する斜入射光学系 (Wolter-I 型光学系) を採用しており、反射鏡は表面に金を成膜したアルミニウム基板を使っている。また、有効面積を稼ぐために、反射鏡基板の厚さを 300 μm 以下に抑え、同心円状に 203 枚積層している。望遠鏡の集光力を表す有効面積は応答関数構築に必要なパラメータである。有効面積は個々の反射鏡の開口面積にその反射鏡の反射率を掛けたものの総和であるため、反射鏡の入射角度ごとの反射率 (角度反射率) を知ることが精度の向上につながる。しかし、反射鏡の表面粗さが大きいとき、入射角度が大きくなるほど正反射する X 線が減り、反射率は落ちてしまう。この表面粗さは、角度反射率曲線に Model fit を行うことで算出できる。そこで SXT の flight model と同じ工程で作られた反射鏡サンプルを 6 枚 (初段と二段目から各 3 枚) 選び、宇宙科学研究所 X 線ビームラインにおいて角度反射率を測定した。測定では、Ti-K α (4.51 keV), Cu-K α (8.04 keV) の特性 X 線のエネルギーを用いて、表面粗さのエネルギー依存性の有無も確認している。測定した角度反射率から算出したそれぞれの反射鏡の表面粗さに、特性 X 線のエネルギーによる違いは見られなかったが、初段と二段目で違いが見られた。特に二段目の反射鏡では、3 枚のサンプルで全て異なる粗さが算出された。現在使われている SXT の応答関数では、表面粗さは全ての反射鏡で一律に同じ値となっている。反射鏡の測定サンプル数を増やし、個々の反射鏡に適切な表面粗さを設定することで応答関数の精度を高めて行く必要があることがわかった。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V315a X線天文衛星「ひとみ (ASTRO-H)」搭載硬 X 線望遠鏡 (HXT) の軌道上での性能評価

粟木久光 (愛媛大), 國枝秀世, 松本浩典, 石橋和紀, 田村啓輔, 田原謙, 三石郁之 (名古屋大), 古澤彰浩 (藤田保健衛生大), 宮澤拓也 (沖縄科技大), 岡島崇, 森英之, 林多佳由 (NASA/GSFC), 石田学, 前田良知, 飯塚亮 (ISAS/JAXA), 幅良統 (愛知教育大), 山内茂雄 (奈良女子大), 杉田聡司 (東工大), 他「ひとみ」HXT チーム

X 線天文衛星「ひとみ (ASTRO-H)」は、口径 45cm/焦点距離 12m の硬 X 線望遠鏡 (Hard X-ray Telescope; HXT) を 2 台搭載している。反射鏡表面には Pt/C の多層膜が成膜されており、ブラッグ反射を利用し、エネルギー約 80 keV までの X 線集光を可能としている。HXT 焦点面には半導体検出器である硬 X 線撮像器 (Hard X-ray Imager; HXI) が設置され、HXT-HXI で「ひとみ」衛星の硬 X 線撮像システムを構成している。

衛星打ち上げ後の初期機能確認フェーズで幾つかの天体を観測し、10 keV を超えるエネルギー帯で天体画像が撮れていることを確認した。現在、取得した観測データを用いて、HXT の軌道上での性能確認を行っている。本講演では、HXT の特徴である 10 keV 以上での撮像分光能力を中心に、地上較正試験の結果との比較も加えて、その現状について報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V316a

ASTRO-H 搭載 精密軟 X 線分光装置 SXS の開発の現状 XVI

辻本匡弘, 満田和久, 山崎典子, 竹井洋, 小山志勇, 小川美奈, 杉田寛之, 佐藤洋一, 篠崎慶亮, 岡本篤, 石川久美 (JAXA), 藤本龍一 (金沢大), 大橋隆哉, 石崎欣尚, 江副祐一郎, 山田真也, 瀬田裕美 (首都大), 田代信, 寺田幸功 (埼玉大), 北本俊二, 星野晶夫 (立教大), 玉川徹 (理研), 野田博文 (東北大), 佐藤浩介 (東京理科大), 太田直美 (奈良女大), 澤田真理 (青山学院大), 三石郁之 (名古屋大), 村上正秀 (筑波大), 村上弘志 (東北学院大), 伊豫本直子 (九州大), 谷津陽一 (東工大) R. L. Kelley, C. A. Kilbourne, F. S. Porter, K. R. Boyce, M. E. Eckart, M. P. Chiao, M. A. Leutenegger, (NASA/GSFC), G.V. Brown (LLNL), D. McCammon (Wisconsin 大), A. Szymkowiak (Yale 大), J.-W. den Herder, D. Haas, C. de Vries, E. Costantini, H. Akamatsu (SRON), S. Paltani (Geneva 大), 他 ASTRO-H SXS チーム

SXS (Soft X-ray Spectrometer) は、ASTRO-H 衛星搭載のミッション装置の1つで、50 mK に多段冷却した X 線マイクロカロリメータアレイを軟 X 線望遠鏡の焦点において $\Delta E < 7 \text{ eV} @ 6 \text{ keV}$ の精密 X 線分光を行う。検出器と断熱消磁冷凍機、前置信号処理回路等を米国、室温から 4K までの冷却系 (デュワ、機械式冷凍機と駆動回路) とデジタル信号処理回路等を日本、フィルタホイール等を欧州が担当した。

前年会では、打ち上げ前から打ち上げ直後までの状況を報告した。その後、しばらくして ASTRO-H 衛星バスの不具合により SXS も運用断念に至った。しかし、この短期間に取得されたデータは、初めて天体観測を行なった衛星搭載 X 線マイクロカロリメータとして、科学的にも工学的にも非常に貴重である。本公演では SXS が軌道上で達成したこと — 多段冷却システムの安定動作、性能要求の達成、軌道上較正など — についてまとめる。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V317a 「ひとみ (ASTRO-H)」搭載 SXS 超流動ヘリウム排気系の軌道上性能

江副祐一郎 (首都大), 石川久美 (ISAS/JAXA), 三石郁之 (名古屋大), 大橋隆哉 (首都大), 満田和久 (ISAS/JAXA), 藤本龍一 (金沢大), 村上正秀 (筑波大), 金尾憲一, 吉田誠至, 恒松正二 (住友重機械), Michael DiPirro, Peter Shirron (NASA/GSFC), 「ひとみ」SXS チーム

SXS (Soft X-ray Spectrometer) は「ひとみ」衛星搭載の X 線マイクロカロリメータであり、冷媒として超流動 (~ 1.12 K) の液体ヘリウムを用いる。限られた液体ヘリウムを軌道上で 3 年以上持たせるため、ヘリウムタンクへの侵入熱は約 0.7 mW に抑えられており、定常状態における排気量はわずか約 $30 \mu\text{g/s}$ である。この排気量は超流動ヘリウムを用いた過去の宇宙ミッションの中で最小であり、わずかな排気ガスを無重力下で液相と安全に分離する必要がある。また排気量が小さく、多くのミッションでは問題にならないような、配管を伝わって液が逃げるフィルムフローが液体ヘリウムの寿命に大きな影響を及ぼすため、これを $< 2 \mu\text{g/s}$ に抑える機構を持つ。

我々は SXS 超流動ヘリウム排気システムを設計、開発した (石川 天文学会 2015 秋, Ezoe et al. 2016 Cryogenics など)。超流動ヘリウムの相分離にはポーラスプラグという熱機械効果を用いて液相と気相を分離するデバイスを用いた。フィルムフロー抑制には微細配管、熱交換器、ナイフエッジデバイスの 3 つを用いた。中でも、原子レベルに鋭いエッジの表面張力を利用してフィルムフローを抑制するナイフエッジデバイスは、我々自身が JAXA 宇宙研のクリーンルームでインハウス製作した。我々は打ち上げ後の温度データから、地上試験に基づいて構築した流量モデルを用いて、定常状態での超流動ヘリウムの排気量を $23\sim 35 \mu\text{g/s}$ と推定した。排気量は予測と一致しており、ポーラスプラグは適切に動作していると考えられる。また積算流量から液体ヘリウム残量を計算し、断熱消磁冷凍機サイクルを用いた推定値等と比較することで、フィルムフローが抑制されていることも確認した。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V318a 「ひとみ (ASTRO-H)」搭載 SXS の波形処理装置の軌道上性能

石崎欣尚, 山田真也, 瀬田裕美 (首都大), 田代信, 寺田幸功, 加藤優花 (埼玉大), 満田和久, 辻本匡弘, 小山志勇 (ISAS/JAXA), 澤田真理 (青山学院大), Kevin R. Boyce, Meng P. Chiao, Tomomi Watanabe, Megan Eckart, Maurice Leutenegger, F. Scott Porter, Caroline Kilbourne, Richard L. Kelley (NASA/GSFC), 「ひとみ」SXS チーム

SXS (Soft X-ray Spectrometer) は、2016年2月17日に打ち上げられた「ひとみ (ASTRO-H)」衛星搭載の X 線マイクロカロリメータアレイである。SXS のサブコンポーネントであるデジタル波形処理装置 PSP (Pulse Shape Processor) は、三菱重工が製造した観測系共通エレクトロニクスボードを利用して、JAXA、埼玉大、首都大を中心として波形処理の設計、検証が行われた。PSP は PSP-A, B の2つの同等なユニットからなり、合計2枚の FPGA ボード、4枚の CPU ボードで構成される。14 bit, 12.5 kHz で A/D 変換された 2×18 チャンネルの連続デジタル波形をオンボード処理し、前後のイベントとの時間差によるグレードづけ (Hp, Mp, Ms, Lp, Ls の5種類)、Hp, Mp, Ms については最適フィルタ処理を行って波高値と到来時刻の計算を行う。そのほか、ノイズ環境をモニタするためノイズレコードの低レート (~ 1 Hz) 常時出力機能、コマンドによるノイズスペクトル計算などの機能をもつ。PSP は 2/19 に ON されセンサデータ出力を開始、波形処理パラメータや最適フィルタのテンプレートは地上で決めた値を使用し、3/2 にトリガしきい値を $120 \rightarrow 75$ ($\sim 166 \rightarrow 104$ eV) に下げた。「ひとみ」が 3/26 に通信途絶するまで正常に動作し、SpaceWire 通信異常や、宇宙線によるメモリ化けなどの問題もなかった。南大西洋異常帯や、3/25 かに星雲の観測では、トリガ数が PSP 処理限界 ~ 200 c/s/array を超える場合があったが、地上での測定と良く合っており、性能要求を満足した (時刻較正は、加藤/小山講演も参照)。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V319b 「ひとみ (ASTRO-H)」搭載 アライメントモニタシステム (AMS) の軌道上性能評価

飯塚亮, 石田学, 上野史郎, 河野太郎, 石村康生 (ISAS/JAXA), 湯浅孝行 (理研), Koujelev Alexandre, Moroso Franco (ASC/CSA), Guibert Martin, Stephane Gagnon, Timothy Elgin (Neptec), Gallo Luigi C. (Saint Mary's University), 他「ひとみ」AMS チーム

2016年2月17日に打上げられた X 線天文衛星「ひとみ (ASTRO-H)」には、硬 X 線検出器 (HXI) が 2 台搭載されており、その硬 X 線望遠鏡 (HXT) の焦点距離は 12m である。打上げロケットの制約のため、HXI は、伸展式光学ベンチ EOB の先の HXI プレートに搭載され、EOB を打上げ後の軌道上で 6m 伸ばすことで 12m の焦点距離を確保する。一方、EOB は構造上の特性から、軌道上の熱環境や姿勢変更により揺れることが予想されるため、アライメントモニタシステム (AMS) が 2 台搭載されている。AMS は、レーザー光を発し、それを受光する 2 次元センサー部分 (AMS-LD) と、レーザー光を折り返すターゲット (コーナーキューブミラー, AMS-T) の 2 部からなる。AMS-LD は HXT が搭載されている固定式光学ベンチ FOB の上段プレートの直下に、AMS-T は HXI プレートに搭載されている。AMS-LD は 5 Hz のサンプリングでレーザーの位置データを取得することができ、2 台のデータから、HXI プレートの並進や回転のモニターや、HXI フォトン位置の補正を地上で行う。

「ひとみ」の打上げ後、AMS は 2 台とも正常に動作をし、ほぼ 1ヶ月軌道上でデータを取ることに成功した。いくつかの天体での観測中の AMS のデータから、日陰日照にともなう EOB の熱変形により、HXI プレートが並進および回転していることがわかった。ただし、それらの量は、HXI 検出器の像で、1 姿勢ごとに大きくても 0.6 mm(10") 程度の揺れにとどまっていることが分かった。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V320b 「ひとみ (ASTRO-H)」搭載SXSの軌道上での観測スペクトルを用いた応答関数の評価

佐藤浩介 (東京理科大), 満田和久, 山崎典子, 辻本匡弘, 竹井洋, 前田良知, 小山志勇 (ISAS/JAXA), 藤本龍一 (金沢大), 澤田真理 (青山学院大), 石崎欣尚, 江副祐一郎, 山田真也, 瀬田裕美 (首都大学東京), 北本俊二, 星野晶夫 (立教大), 田代信 (埼玉大), 野田博文 (東北大), R. L. Kelley, C. A. Kilbourne, F. S. Porter, M. E. Megan, T. Okajima (NASA/GSFC), 他「ひとみ」SXS チーム

SXS (Soft X-ray Spectrometer) は、2016年2月17日に打ち上げられた「ひとみ (ASTRO-H)」衛星搭載のX線マイクロカロリメータアレイであり、軌道上でも優れたエネルギー分光能力を実現した (辻本講演)。SXS デュワー上部には地上試験における真空密閉の必要性、及び軌道上でのコンタミ付着防止のためゲートバルブが取り付けられており、設計値で厚さ 300 μm のベリリウムフィルター及びフィルター支持構造で構成されている。軌道上での衛星搭載各機器の立ち上げフェーズ後にゲートバルブを開け、定常観測を観測を開始する予定であったが、衛星本体の不具合によりSXS デュワーのゲートバルブを開ける前に観測を終了した。ゲートバルブ越しに天体を観測すると低エネルギー側のスペクトルは強い吸収を受けてしまう。そのため、SXT(軟X線望遠鏡)での集光過程やゲートバルブでの光子透過率、及びSXSの量子効率等を考慮に入れて有効面積を評価しなければならない。特にゲートバルブはベリリウム膜厚のムラの影響やFe/Ni等のコンタミ物質を考慮する必要もあり、実際に観測されたスペクトルを用いた評価は重要である。本ポスターでは、SXSで実際にゲートバルブ越しに観測されたG21.5-0.9、Crab nebula等の検出器チーム用にプロセスされた観測データを用いてSXSの軌道上での有効面積を評価するとともに、他の衛星で行なわれたクロスキャリブレーションの結果との比較も行う。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V321b 「ひとみ (ASTRO-H)」搭載 SXS の高エネルギー帯域スペクトルの較正

瀬田裕美, 石崎欣尚, 江副祐一郎, 山田真也 (首都大学東京), 辻本匡弘, 前田良知, 小山志勇, 山崎典子, 満田和久 (ISAS/JAXA), 藤本龍一 (金沢大), 澤田真理 (青山学院大), 佐藤浩介 (東京理科大), 北本俊二, 星野晶夫 (立教大), 田代信 (埼玉大), 野田博文 (東北大), R. L. Kelley, C. A. Kilbourne, F.S. Porter, M. E. Megan, T. Okajima (GSFC/NASA), 他「ひとみ」SXS チーム

「ひとみ (ASTRO-H)」衛星に搭載された精密軟X線分光装置 (SXS; Soft X-ray Spectrometer) は、素子を極低温下 (50 mK) で動作させ、入射光子 1 つ 1 つのエネルギーによる微弱な温度上昇を電気信号として捕えるマイクロカロリメータである。設計要求は、エネルギー分解能 7 eV、エネルギー帯域 0.3–12 keV、処理カウント数 150 Hz/array、エネルギー決定精度 2 eV、絶対時刻精度 10 ms 等であったが、実際には、軌道上でこれを全て上回る性能を示した。本公演では、このうち要求性能以上得られたエネルギー帯域の高エネルギー側の較正結果についてまとめる。

SXS のエネルギー帯域の上限は、原理的にはセンサに接続したアナログ処理器 (XBOX) の信号増幅部の ADC のダイナミックレンジで決まっており、およそ 30 keV である。ただし、パイプラインデータ処理では要求帯域以上のイベントは標準的に処理されない。また、センサーのゲインが非線形なので、正しく補正する必要がある。そこで、我々は、かに星雲の観測データのイベントプロセスをやり直した上で、望遠鏡・検出器由来の構造や地上試験結果などを用いたゲイン較正、他衛星の結果から有効面積の較正を施し、その結果得られた 30 keV 付近までのスペクトルをしめす。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V322c

「ひとみ (ASTRO-H)」搭載 SXS 用デジタル波形処理器の地上試験での時刻精度の検証

加藤優花, 久保田拓武, 田代信, 寺田幸功 (埼玉大), 小山志勇, 辻本匡弘, 山崎典子, 満田和久, 石川久美 (ISAS/JAXA), 石崎欣尚, 江副祐一郎, 山田真也, 瀬田裕美, 大橋隆哉 (首都大学東京), 澤田真理 (青山学院大), 野田博文 (東北大), 北本俊二, 星野晶夫 (立教大), 佐藤浩介 (東京理科大), 藤本龍一 (金沢大), 玉川徹 (理研), R. L. Kelley, C. A. Kilbourne, F. S. Porter, K. R. Boyce, M. E. Eckart, M. P. Chiao, M. A. Leutenegger (GSFC/NASA), J.-W. den Herder, C. de Vries (SRON), 他 ASTRO-H SXS チーム

「ひとみ (ASTRO-H)」は、軟 X 線分光検出器 (SXS; 辻本他講演) を搭載している。SXS は、受光部を 50 mK という極低温下で動作させ、機上のデジタルデータ処理によって 6 keV の入射光子のエネルギーに対し、5 eV の高エネルギー分解能を実現した。本講演では、2015 年 5-6 月につくば宇宙センターで実施された衛星総合試験において、衛星に搭載された較正用 X 線発生装置 (Modulated X-ray Source, MXS) で得た X 線データを用い、PSP が出力するイベント時刻と、衛星時刻で規定される MXS 照射時刻とのずれをグレードごとに検証した結果を報告する (軌道上での検証は、小山講演を参照)。受光部の温度波形は、80 s ごとに A/D 変換されデジタル波形処理器 (Pulse Shape Processor, PSP) へ渡される。重畳パルスを検出し、イベントをトリガ時間間隔で Hp, Mp, Ms, Lp, Ls の 5 種類に分類する。イベント時刻の算出は、Hp は 1024 サンプル (82 ms)、Mp/Ms は 256 サンプルのテンプレート波形と相関をとることで決定され、トリガのしきい値には依存しない。一方、Lp/Ls では微分波形のピークをイベント時刻とするため、Hp/Mp/Ms に対して 0.93 ms 遅れることがわかった。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V323b 「ひとみ (ASTRO-H)」搭載 精密軟 X 線分光装置 (SXS) の軌道上における Crab Pulsar を用いた時刻較正

小山志勇 (ISAS/JAXA), 田代信, 寺田幸功, 加藤優花 (埼玉大), 辻本匡弘, 山崎典子 (ISAS/JAXA), 石崎欣尚, 山田真也 (首都大学東京), 澤田真理 (青山学院大), 野田博文 (東北大), 星野晶夫 (立教大), 佐藤浩介 (東京理科大), 藤本龍一 (金沢大), C. A. Kilbourne, F. S. Porter (NASA/GSFC), 他 ASTRO-H SXS チーム, 寺澤敏夫 (理研), 榎戸輝揚 (京都大学), 関戸衛, 岳藤一宏, 川合栄治 (情報通信研究機構), 三澤浩昭, 土屋史紀 (東北大)

ASTRO-H 衛星に搭載された精密軟 X 線分光装置 (SXS; 辻本他講演) はテレメトリ上の最小時間分解能は $5 \mu\text{s}$ として設計されており、時刻精度においては絶対時刻精度 $< 1 \text{ ms}$ 、相対時刻精度 $< 80 \mu\text{s}$ が要求されている。打ち上げ前の地上較正により、ピクセル間における時間差 (最大 $130 \mu\text{s}$) とイベントの種別にもなう波形処理の手法によって生じる時間差 ($930 \mu\text{s}$) が較正パラメータとして適用されている (加藤講演)。加えて絶対時刻に対する不定性とイベントの波高値と波形に応じた時間差が原理的に予想されていたが、地上試験では光源側の時刻精度の限界により定量化されていなかった。これらパラメータは Crab Pulsar を較正パルス光源として用いることで軌道上で較正される計画になった。Crab の観測は 2016 年 3 月 25 日に行われ、得られた X 線パルス波形は典型的な Crab Pulsar の波形と一致しており、衛星上の時刻付けおよび地上ソフトウェアにおける時刻付けは ms 以下の精度で成功している。SXS 内部の相対時刻の評価では、イベント種別により最大で $91 \pm 30 \mu\text{s}$ の時間差 (Mid-primary - Low-primary event 間) に生じていることが分かった。現在、パラメータの定量化を進め相対時刻精度の改善を行うとともに、電波の同時観測の結果を参照し、絶対時刻精度の見積もりを試みている。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V324b 宇宙 X 線観測用マイクロカロリメーターのセンサ熱浴温度計測に対する軌道上宇宙線擾乱と、信号処理によるその影響の低減

澤田真理 (青学大), 山田真也, 石崎欣尚 (首都大), 竹井洋, 辻本匡弘 (ISAS/JAXA), 寺田幸功 (埼玉大), C. A. Kilbourne, F. S. Porter, M. E. Eckart, M. A. Leutenegger, L. Angellini (GSFC/NASA), ほか「ひとみ」SXS チーム, 「ひとみ」Software/Calibration チーム

X 線マイクロカロリメーターによる精密分光では、ゲインの安定のためセンサ熱浴を $\sim \mu\text{K}_{\text{rms}}$ で温度制御する。この実現のため「ひとみ」搭載の SXS では、冷凍機擾乱の低減が不可欠であった (澤田ほか 2014 年春季年会)。

軌道上では衛星環境の時間変化によりゲイン安定度と分光性能が著しく劣化する。その期間の X 線イベントは、地上パイプラインで自動選別し破棄する必要があるが、較正線源をもちいたゲインの直接推定では分スケール以下の変動に感度がない。そこでわれわれは、熱浴の温度安定度をもちいた間接判定法を確立した。しかし SXS の軌道上データを解析したところ、温度安定度と分光性能がともに劣化するケース以外に、分光性能が不変であっても熱浴の温度安定度のみが瞬間的に劣化するケースを多数発見した (温度スパイク)。当初予定していた単純なイベント選別では、これらの時間帯も一律に破棄するため、10%におよぶ観測時間を不必要に失ってしまう。

温度スパイクの統計的性質や、反同時計数検出器の信号との同時検出といった特徴から、その起源は、比較的低頻度でセンサ熱浴に入射した軌道上宇宙線が、温度計そのものを叩いた電氣的擾乱、または、温度計付近を局所的に加熱した熱的擾乱であると考えられる。われわれは、適切なデジタル波形処理を熱浴温度プロファイルにあらかじめ適用することで、スパイクによる温度安定度劣化のみを効率的に低減する手法を開発した。これは将来の X 線マイクロカロリメーター観測においても必須の処理となる可能性がある。本講演ではその詳細を報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V325a X線天文衛星「ひとみ (ASTRO-H)」搭載軟X線撮像検出器 SXI の軌道上性能と較正の現状

森浩二, 山内誠, 廿日出勇, 西岡祐介, 坂田美穂, 安田賢杜 (宮崎大学), 常深博, 林田清, 中嶋大, 井上翔太 (大阪大学), 鶴剛, 田中孝明, 内田裕之 (京都大学), 堂谷忠靖, 尾崎正伸, 富田洋, 夏苺権, 上田周太郎, 岩井將親 (ISAS/JAXA), 信川正順 (奈良教育大), 村上弘志 (東北学院大学), 平賀純子 (関西学院大学), 幸村孝由 (東京理科大学), 信川久実子 (奈良女子大学), 他ひとみ/SXI チーム

X線天文衛星「ひとみ」に搭載された軟X線撮像検出器 (Soft X-ray Imager; SXI) は、高感度・広視野を誇るX線 CCD カメラである。素子として空乏層厚 $200\mu\text{m}$ を有する P チャンネル CCD を裏面照射型として採用することで、 $0.4\text{--}12\text{ keV}$ の広い帯域で十分に高い量子効率を実現した。また、4素子を 2×2 のモザイク状に並べることで、望遠鏡の焦点面に置かれたX線 CCD カメラとしては過去最大の $38'\times 38'$ の視野を確保した。同じく「ひとみ」に搭載された精密軟X線分光装置の狭視野を補完し、硬X線撮像検出器の感度帯域と十分なオーバーラップを持つことで、「ひとみ」の広帯域X線撮像分光の一翼を担っている。

2016年2月17日の衛星打ち上げ後、SXIは3月2日から立ち上げ運用を開始し、3月7日から通常運用に移行した。通常運用移行後は、およそ3週間に渡り複数天体を観測し、撮像分光性能が期待通りであることを確認した。特に前号機「すざく」に搭載したX線 CCD カメラの経験を踏まえて施したコンタミネーション対策や低バックグラウンド化が、期待通りに機能していることを確認した。一方で、光漏れやクロストークに起因する擬似X線イベントの発生という予期せぬ事象にも見舞われたが、それらについては原因を特定し、対策を講じた。

本講演では、上記、SXIの軌道上性能と較正の現状について報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V326b

X線天文衛星「ひとみ (ASTRO-H)」搭載軟X線撮像検出器 SXI の軌道上較正：光漏れイベントの原因追求とその対策

内田裕之, 田中孝明, 鶴剛 (京都大学), 常深博, 林田清, 中嶋大, 井上翔太 (大阪大学), 森浩二, 坂田美穂, 西岡祐介, 山内誠, 廿日出勇 (宮崎大学), 堂谷忠靖, 尾崎正伸, 富田洋, 夏苺権, 上田周太郎 (ISAS/JAXA), 平賀純子 (関西学院大学), 信川正順 (奈良教育大), 村上弘志 (東北学院大学), 幸村孝由 (東京理科大学), 信川久実子 (奈良女子大学) 他「ひとみ」SXI チーム

我々は、「ひとみ」搭載軟X線撮像検出器 (Soft X-ray Imager: SXI) が地上試験と同等の雑音性能・エネルギー分解能を機上でも実現し、撮像検出器としての役割を果たせることを確認した (本年会 a 講演、森ほか)。しかし SXI 立ち上げ後の約3週間の観測データを解析した結果、一部の時間帯で特定の画素のカウントレートが著しく高いことがわかった。我々はこの事象を「光漏れイベント」と呼んでいる。光漏れを起こすピクセルの位置は、地上試験で確認した「ピンホール領域」と空間的に一致している。「ピンホール領域」は直径数 μm 程度で、可視光入射を防ぐ素子表面の Al 層の一部劣化によって生じたと考えられる (2014 年春季年会、村上ほか)。

光漏れが起きる時間帯と衛星の姿勢とを比較した結果、ピンホール領域のカウントレートが高いのは、衛星後部が昼地球を向いている場合のみであることがわかった。我々は衛星後部から入射し衛星内部で反射した可視光が光漏れに寄与した可能性が高いと推測している。そこで実際の運用では、こうした時間帯に on-axis の一部領域のみデータ取得するようにしてテレメトリの飽和を防ぐ対策を行った。また機上データ解析においては、衛星の方向と昼地球のなす elevation angle で「光漏れ時間帯」を定義し、スクリーニング条件を明確化した。本発表では、光漏れイベントの原因およびその対策方法について詳述する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V327b

X線天文衛星「ひとみ (ASTRO-H)」搭載軟X線撮像検出器 SXI の軌道上較正：クロストーク起源の擬似イベント発生とその対策

安田賢杜, 坂田美穂, 別府達彦, 本田大悟, 森浩二, 山内誠, 廿日出勇, 西岡祐介 (宮崎大学), 常深博, 林田清, 中嶋大, 井上翔太 (大阪大学), 鶴剛, 田中孝明, 内田裕之 (京都大学), 堂谷忠靖, 尾崎正伸, 富田洋, 夏苺権, 上田周太郎, 岩井將親 (ISAS/JAXA), 信川正順 (奈良教育大), 村上弘志 (東北学院大学), 平賀純子 (関西学院大学), 幸村孝由 (東京理科大学), 信川久実子 (奈良女子大学), 他ひとみ/SXI チーム

X線天文衛星「ひとみ」に搭載された軟X線撮像検出器 (Soft X-ray Imager; SXI) はX線 CCD カメラであり、すばる望遠鏡の超広視野主焦点カメラ (Hyper Supreme Cam; HSC) で使用している CCD と同じタイプの CCD を採用している。1 素子は4つの読み出しノードを持ち、HSC では4チャンネル同時に、SXI は2チャンネル同時に読み出している。先行して稼働していた HSC の CCD では、この多チャンネル読み出し間でのクロストークにより、非常に明るい光源が存在する場合、別のチャンネルの同じ位置に周囲より波高値の低いゴーストが発生することがわかっている。軌道上にある SXI の場合は、宇宙線による巨大信号がクロストークを介してゴーストを発生させることがわかった。初期観測においては、このゴーストが SXI の搭載ソフトウェアのダーク計算に影響を及ぼし、結果、大量の擬似イベントを発生させ記録媒体の容量を圧迫する事態がおこった。一方で、地上ソフトウェアによるシミュレーションにより、このダーク計算におけるゴーストの影響は、適切なパラメタ設定をおこなうことで、除去可能であることがわかった。本講演では、上記のクロストーク起源の擬似イベント発生とその対策の詳細について報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V328b X線天文衛星「ひとみ (ASTRO-H)」搭載軟X線撮像検出器 SXI の軌道上較正：バックグラウンドと検出効率

井上翔太, 中嶋大, 林田清, 常深博 (大阪大学), 村上弘志 (東北学院大学), 鶴剛, 田中孝明, 内田裕之 (京都大学), 森浩二, 坂田美穂, 西岡祐介, 山内誠, 廿日出勇 (宮崎大学), 堂谷忠靖, 尾崎正伸, 富田洋, 夏苅権, 上田周太郎, 岩井將親 (ISAS/JAXA), 平賀純子 (関西学院大学), 信川正順 (奈良教育大), 幸村孝由 (東京理科大学), 信川久実子 (奈良女子大学) 他 Hitomi/SXI チーム

我々は、これまで「ひとみ」搭載軟X線撮像検出器 (Soft X-ray Imager: SXI) の開発を進めて来た。SXIは4枚の Back-illuminated (BI) CCD から構成されており、 $38' \times 38'$ の広い視野をカバーする。「ひとみ」は、打ち上げ後複数の天体を観測しており、我々はこれら約1ヶ月分のデータを用いて軌道上較正を進めている。

宇宙線由来のバックグラウンド (Non X-ray Background: NXB) は、太陽光のあたっていない地球の観測データを用いて見積っている。これまで衛星に搭載されてきた BI-CCD の NXB スペクトルと比較すると、高エネルギー側に hump のような構造はなく、また ~ 9 keV 以下に目立った輝線もないことが確認できた。また、SXIの広い視野から、単位立体角、単位有効面積あたりの NXB 強度は過去の衛星と比べて小さく、SXIが広がった暗い天体 (銀河団の outskirt など) の観測に対して有用であることがわかった。本講演では NXB スペクトルの宇宙線 Cut-off Rigidity 依存性についても報告する。

SXI 検出効率は、主にかに星雲, G21.5-0.9 の観測データを用いて較正している。また、有機物質の吸着による検出効率への影響を見積るため、RX J1856.5-3754 の観測データを解析した。1週間の間隔をおいた2回分の観測データを解析した結果、汚染物質の厚みは、この期間で著しく増加していないことがわかった。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V329b

X線天文衛星「ひとみ (ASTRO-H)」搭載軟X線撮像検出器 SXI の軌道上較正：ゲインとレスポンス

坂田美穂, 安田賢杜, 別府達彦, 本田大悟, 森浩二, 山内誠, 廿日出勇, 西岡祐介 (宮崎大学), 平賀純子 (関西学院大学), 中嶋大, 井上翔太, 常深博, 林田清 (大阪大学), 信川正順 (奈良教育大), 信川久実子 (奈良女子大学), 鶴剛, 田中孝明, 内田裕之 (京都大学), 堂谷忠靖, 尾崎正伸, 富田洋, 夏苅権, 上田周太郎, 岩井將親 (ISAS/JAXA), 村上弘志 (東北学院大学), 幸村孝由 (東京理科大学), 他ひとみ/SXI チーム

X線天文衛星「ひとみ」に搭載された軟X線撮像検出器 (Soft X-ray Imager; SXI) は、完全空乏化型裏面照射 P チャンネル CCD を 4 素子モザイク状に配置した X 線 CCD カメラである。X 線天文衛星「すざく」に搭載された X 線 CCD カメラ XIS と同様に、電荷転送効率を向上させるために周期的に人工電荷注入 (Charge Injection: CI) をおこなっている。一方で、CI に起因する電荷転送効率の局所的な変化の補正については、実際の CCD の駆動を踏まえて、XIS のころより flexibility を増した補正式を採用している。また、これにより局所的に電荷転送効率の低い領域の補正にも対応した (内田他、2016 年春季年会)。X 線 CCD の場合は、これら電荷転送効率の補正が見かけ上のゲイン、および、エネルギー分解能を含むレスポンスの較正に直結する。現在、我々は軌道上で得られた観測天体および較正線源である ^{55}Fe のデータを用いて、特に上記の新しい補正式に留意しながら、これらゲイン・レスポンスの較正を進めている。本講演では、その最新結果について報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V330b

X線天文衛星「ひとみ (ASTRO-H)」搭載機器の解析ソフトウェアの開発

寺田幸功 (埼玉大学), 高橋弘充 (広島大学), 信川正順 (奈良教育大学), 澤田真理 (青山学院大学), C. Baluta (ISAS/JAXA), 高橋忠幸 (ISAS/JAXA), L. Angelini (NASA/GSFC), 山口弘悦 (NASA/GSFC, University of Maryland), E. Miller (MIT), H. Krimm, T. Yaqoob, M. Lowenstein, I. Harrus (NASA/GSFC), 中島真也, 上田周太朗, 佐藤悟朗, 佐藤理江, 飯塚亮, 竹井洋, 前田良知, 辻本匡弘, 山崎典子, 夏苺権, 石田学, 海老沢研, 田村隆幸, 尾崎正伸 (ISAS/JAXA) 石崎欣尚 (首都大学東京) ほか、「ひとみ」チーム

2016年に打ち上げられたX線天文衛星「ひとみ (ASTRO-H)」は、公開天文台としてその科学観測データはひろく科学者にひらかれる予定である。搭載機器の開発者でなくとも、衛星の科学成果が最大限にひきだせるように、迅速、正確、かつ、容易に観測データを解析する仕組みをとる必要がある。そのため、ハードウェア開発チームと密に情報を共有しつつ、ハードウェア開発メンバーとは独立に解析ソフトウェアの開発や搭載装置の較正情報を扱う専門のグループとして、ソフトウェア・キャリブレーションチーム (SCT) を立ち上げ、活動を行ってきた。これは将来のX線国際ミッションのソフトウェア開発のテストケースともなっている。2016年2月の打ち上げ時点で、すべての「ひとみ (ASTRO-H)」搭載機器の較正データベースがそろい、各検出器からの観測データを解析するソフトウェアのベータバージョンが完成した。その後、初期運用観測のデータを用いながら、日米での自動パイプラインプロセスの最終調整と、データ解析ソフトウェアの更新を行ない、2016年5月には「ひとみ (ASTRO-H)」解析ソフトウェアの最初の版をNASA HEASARCから公開するに至った。本講演では、「ひとみ (ASTRO-H)」の解析ソフトウェア開発および現状に関する詳細を発表する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V331a

X線天文衛星「ひとみ (ASTRO-H)」搭載硬 X 線撮像検出器 (HXI) の軌道上動作

萩野浩一 (ISAS/JAXA), 中澤知洋 (東大理), 国分紀秀, 佐藤悟朗, 高橋忠幸, 渡辺伸, 太田方之, 佐藤理江, Herman Lee (ISAS/JAXA), 能町正治 (阪大理), 米徳大輔 (金沢大理), 田中孝明, 榎戸輝揚 (京大理), 寺田幸功 (埼大理), 内山秀樹 (静大教), 谷津洋一 (東工大理), 一戸悠人 (首都大理工), 野田博文 (東北大学際), 田島宏康 (名大 ISEE), 山岡和貴 (名大理), 林克洋 (名大理, ISAS/JAXA), 深沢泰司, 水野恒史, 大野雅功, 高橋弘充 (広大理), 中森健之 (山形大理), 内山泰伸, 斉藤新也 (立教大理), 牧島一夫, 湯浅孝行, 中野俊男 (理研), 片岡淳 (早大理工), Francois Lebrun, Andrea Goldwurm, Olivier Limousin, Philippe Laurent, Daniel Maier (APC/CEA), 武田伸一郎 (沖縄科技大), 小高裕和 (Stanford 大), 他「ひとみ」HXI チーム

2016年2月17日に打ち上げられた X 線天文衛星「ひとみ (ASTRO-H)」には、硬 X 線帯域において撮像分光観測を行う硬 X 線撮像検出器 (HXI: Hard X-ray Imager) が搭載された。HXI は、硬 X 線望遠鏡と組み合わせることで、5–80 keV において $9' \times 9'$ の視野を約 $2'$ (HPD) の角度分解能で撮像分光観測する。また、Si/CdTe 半導体検出器を積層した主検出器を井戸型 BGO アクティブシールドで囲むことで低バックグラウンドを実現する。

伸展式光学ベンチの展開後、順次センサーを立ち上げ、3月14日に2台とも観測を開始した。3月26日の通信途絶まで正常に動作し、複数の天体の硬 X 線撮像分光観測に成功した。軌道上においても全チャンネルが正常に動作しており、地上試験と矛盾ないエネルギー分解能を達成している。観測性能を決定づける検出器バックグラウンドのレベルも 40 keV 以下では予想と同程度であり、HXI はほぼ想定通りの性能を示した。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V332a

X線天文衛星「ひとみ (ASTRO-H)」搭載軟ガンマ線検出器 (SGD) の軌道上動作

深沢泰司 (広大理), 田島宏康 (名大 ISEE), 渡辺伸 (ISAS/JAXA), 大野雅功, 勝田隼一郎, 北口貴雄, 高橋弘充, 田中康之, 水野恒史 (広大理), 林克洋, 山岡和貴 (名大理), 太田方之, 国分紀秀, 佐藤悟朗, 佐藤理江, 高橋忠幸, 萩野浩一, 森國城 (ISAS/JAXA), 一戸悠人 (首都大理), 内山秀樹 (静大教), 内山泰伸, 斉藤新也 (立教大理), 榎戸輝揚, 田中孝明 (京大理), 小高裕和, Roger Blandford, Grzegorz Madejski (Stanford 大), 片岡淳 (早大理), Andrea Goldwurm, Philippe Laurent, Olivier Limousin, François Lebrun (APC/CEA), 武田伸一郎 (沖縄科技大), 寺田幸功 (埼大理), 中澤知洋 (東大理), 中野俊男, 牧島一夫, 湯浅孝行 (理研), 中森健之 (山形大理), 野田博文 (東北大学際), 谷津陽一 (東工大理), 米徳大輔 (金沢大理), ほか「ひとみ」SGD チーム

2016年2月17日に打ち上げられたX線天文衛星「ひとみ」(ASTRO-H)に搭載された軟ガンマ線検出器 (Soft Gamma-ray Detector: SGD) の軌道動作実績について報告する。SGDは、3月15日より約10日間かけて順次、センサー2台の立ち上げを行い、通信途絶となった3月26日まで、機能的には正常に動作させることができた。衛星パネルの外部という厳しい環境ながら、温度制御も順調に機能し、所定の温度分布を達成し、半導体センサーのノイズレベルも問題ないレベルとなっていた。観測では、Crabも含めた一部の天体からのガンマ線信号の取得に成功し、コンプトンカメラとして動作することを確認した。本講演では、これらのデータについて、立ち上げの様子や軌道上バックグラウンドのふるまいとともに報告を行う。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V333a 「ひとみ (ASTRO-H)」搭載硬 X 線軟ガンマ線検出器における BGO アクティブシールドの軌道上性能

大野雅功, 深沢泰司, 水野恒史, 高橋弘充, 北口貴雄, 田中康之, 勝田隼一郎, 河野貴文, 白川裕章, 枝廣育実, 幅田翔, 岡田千穂, 大橋礼恵, 田中晃司 (広島大学), 高橋忠幸, 国分紀秀, 渡辺伸, 佐藤悟朗, 太田方之, 萩野浩一, 佐藤理江, 森國城, 内田悠介, 桂川美穂, 都丸亮太, 米田浩基 (ISAS/JAXA), 中澤知洋, 鳥井俊輔, 桜井壮希, 笹野理, 西田瑛量, 小林翔悟, 村上浩章, 小野光, 加藤佑一, 三宅克馬, 古田禄大, 室田優紀 (東京大学), 田島宏康 (名大 ISEE), 木下将臣, 山岡和貴 (名古屋大学), 林克洋 (名古屋大学/ISAS), 片岡淳, 斎藤龍彦, 吉野将生, 三村健人 (早稲田大学), 谷津陽一 (東工大), 斉藤新也 (立教大学), 内山秀樹 (静岡大学), 中森健之 (山形大学), 武田伸一郎 (OIST), 中野俊男 (RIKEN), 一戸悠人 (首都大学東京), ほか「ひとみ」HXI/SGD チーム

「ひとみ (ASTRO-H)」衛星に搭載される硬 X 線撮像検出器及び軟ガンマ線検出器は、BGO アクティブシールドで主検出器を取り囲むことにより、バックグラウンドを低減し、過去最高感度の観測を実現する。2016年2月17日の衛星打ち上げ後、アクティブシールドは順次立ち上げが行われ、総計72系統に及ぶシールド読み出し系は全て正常に立ち上がり、健康診断スペクトル取得機能やガンマ線バースト判定機能など、全機能が設計通り動作することを確認した。各 BGO 結晶の光量も地上試験で測定したのに対して大きな変化はなく、反同時計数信号生成のエネルギー閾値は100~150keV 前後と、地上試験と同程度の性能であり、主検出器のバックグラウンド低減に成功した。さらに、ガンマ線バーストの検出に成功し、到来方向の制限やスペクトル解析を行えることを実証した。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V334a

「ひとみ (ASTRO-H)」搭載SGDのBGOシールドを用いたガンマ線バースト位置決定能力の評価

田中晃司, 大野雅功, 深沢泰司, 水野恒史, 高橋弘充, 北口貴雄, 田中康之, 勝田隼一郎, 河野貴文, 白川裕章, 枝廣育実, 幅田翔, 岡田千穂, 大橋礼恵 (広島大学), 高橋忠幸, 国分紀秀, 渡辺伸, 佐藤悟朗, 太田方之, 萩野浩一, 佐藤理江, 森國城, 内田悠介, 桂川美穂, 都丸亮太, 米田浩基 (ISAS/JAXA), 中澤知洋, 鳥井俊輔, 桜井壮希, 笹野理, 西田瑛量, 小林翔悟, 村上浩章, 小野光, 加藤佑一, 三宅克馬, 古田禄大, 室田優紀 (東京大学), 田島宏康 (名大 ISEE), 木下将臣, 山岡和貴 (名古屋大学), 林克洋 (名古屋大学/ISAS), 片岡淳, 斎藤龍彦, 吉野将生, 三村健人, (早稲田大学), 谷津陽一 (東工大), 斉藤新也 (立教大学), 内山秀樹 (静岡大学), 中森健之 (山形大学), 武田伸一郎 (OIST), 中野俊男 (RIKEN), 一戸悠人 (首都大学東京), ほか「ひとみ」HXI/SGD チーム

「ひとみ (ASTRO-H)」衛星搭載軟ガンマ線検出器 SGD に用いられる 50 個の BGO シンチレータは巨大な幾何学面積を持つため、ガンマ線バースト (GRB) 検出器として力を発揮する。ただし、検出器のガンマ線応答は GRB 発生方向によって大きく変わるため、GRB の明るさ等の物理情報を正しく引き出すには、その発生方向を知ることが重要である。本研究では、衛星も再現したシミュレータを用いて全天方向から GRB を仮想した光子を入射させ、50 個全ての BGO において、GRB の検出光子数の入射角度依存性を計算した。得られた角度応答と、実際の GRB 発生時に期待される各 BGO のガンマ線検出数と比較することで、ピーク光度が $10 \text{ photons s}^{-1} \text{ cm}^{-2}$ 以上の明るいバーストであれば 5° 程度の精度で方向決定できることがわかった。さらに、この手法を用いて、実際に ASTRO-H で観測された GRB の位置決定を行ったところ、到来方向を一意に定めることに成功した。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V335a

ALPACA 実験 1: ALPACA 実験計画概要

日比野欣也 (神奈川大工), 堀田直己 (宇都宮大教), 片岡厚典 (東大宇宙線研), 片岡幹博 (横浜国大工), 片寄祐作 (横浜国大工), 加藤千尋 (信州大理), 川田和正 (東大宇宙線研), 小島浩司 (愛知工大工), 松田光平 (横浜国大工), P. Miranda (サン・アンドレス大), 宗像一起 (信州大理), 中村; 佳昭 (信州大理), 西澤正己 (国立情報学研), 荻尾彰一 (大阪市大理), 大西宗博 (東大宇宙線研), 大嶋晃敏 (中部大工), J. Quispe (サン・アンドレス大), M. Raljevich (サン・アンドレス大), H. Rivera (サン・アンドレス大), 齋藤敏治 (都立産業技術高専), 佐古崇志 (東大宇宙線研), 柴田祥一 (中部大工), 塩見昌司 (日本大生産工), M. Subieta (サン・アンドレス大), 鈴木大 (横浜国大工), 田島典夫 (理研), 瀧田正人 (東大宇宙線研), R. Ticona (サン・アンドレス大), 徳永恭助 (東大宇宙線研) 土屋晴文 (原子力機構), 常定芳基 (大阪市大理), 有働慈治 (神奈川大工) 他 The ALPACA Collaboration

南米ボリビアのチャカルタヤ山中腹 (標高 4,740 m) で宇宙放射線の観測を行う ALPACA 実験が計画されている。世界最大 (5,400 m²) の地下水チェレンコフ型ミュオン観測装置を世界で初めて南半球に設置し、これと広視野 (約 2 sr) 連続観測宇宙線望遠鏡である空気シャワー観測装置 (有効面積 83,000 m²) を連動することにより、背景となる原子核宇宙線からガンマ線を高効率で選別し、10 TeV から数 100 TeV 領域ガンマ線を高感度で観測することが可能となる。本計画はこれらの装置を用いて連続観測を行うことにより、南天における超高エネルギー宇宙ガンマ線天文学の開拓を目指している。本講演ではその計画概要について報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V336a Cherenkov Telescope Array (CTA) 計画：全体報告（11）

窪秀利，井岡邦仁（京都大学），手嶋政廣，戸谷友則，林田将明，吉越貴紀（東京大学），田島宏康（名古屋大学），山本常夏（甲南大学），吉田龍生（茨城大学），他 CTA Consortium

超高エネルギーガンマ線による天体観測は、大口径・ステレオ化した大気チェレンコフ望遠鏡アレイ（HESS、MAGIC、VERITAS、CANGAROO）によって飛躍的に発展し、検出天体数は、銀河系内外合わせて170を超え、天文学の新たな一分野を形成した。さらに発展すべく、我々は、日欧米を中心に32か国の国際共同により、次世代超高エネルギーガンマ線天文台CTA（Cherenkov Telescope Array）の建設へ向けて準備を進めている。CTA計画では、大（23 m）・中（10-12 m）・小（4 m）口径の望遠鏡計約100台からなる、世界で一つの大規模チェレンコフ望遠鏡アレイをスペイン・ラパルマとチリ・パラナルに建設し、現状より一桁以上高い感度（かに星雲強度の0.1%）、広いエネルギー領域（20 GeV から 300 TeV）、高い角度分解能（1 TeV で 2 分角）で全天を観測する。CTAによって、銀河系内外から1000を超える多種多様な天体が検出されると予想され、目指すサイエンスは、高エネルギー天体現象（活動銀河核、スターバースト銀河、ガンマ線バースト、超新星残骸、パルサー・星雲、コンパクト連星、銀河中心、拡散ガンマ線など）のガンマ線放射機構および高エネルギー粒子加速機構、宇宙線起源の解明に加え、銀河間空間でのガンマ線吸収を用いた赤外可視背景放射測定による星形成史の研究、ダークマターの探索、ローレンツ不変性の高精度検証など、宇宙論、基礎物理までその研究の範囲は広がる。現在、プロトタイプ望遠鏡の建設・試験及び系内外サーベイを含めた長時間観測計画の詳細検討が進んでいる。本講演では、CTA計画全体の進捗状況を報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V337b

CTA 大口径望遠鏡初号機用カメラの最終デザイン

猪目祐介, 岸田柊, 山本常夏 (甲南大理), 大岡秀行, 高橋光成, 手嶋政廣, 中嶋大輔, 林田将明 (東大宇宙線研), 馬場彩 (東大理), 小山志勇 (ISAS/JAXA), 寺田幸功, 永吉勤 (埼玉大理), 櫛田淳子, 辻本晋平, 西嶋恭司 (東海大理), 折戸玲子 (徳島大総科), 片桐秀明, 吉田龍生, Dang Viet Tan (茨城大理), 窪秀利, 今野裕介, 齋藤隆之, 谷川俊介, 増田周 (京大理), 郡司修一 (山形大理), 澤田真理 (青山大理), 郡司修一, 武田淳希, 中森健之 (山形大理), 奥村暁 (名大 ISEE), 他 CTA-Japan Consortium

高エネルギー宇宙物理学の更なる発展を目指して現在、Cherenkov Telescope Array (CTA) 計画が国際共同実験として進行している。この計画は異なる口径を持つチェレンコフ望遠鏡を複数設置して高エネルギーガンマ線を観測する計画である。我々はその中でも大口径望遠鏡 (LST) の開発を行なっている。LST 初号機用のカメラには1台あたり約2000本の光電子増倍管が検出素子として搭載される予定であり、読み出し回路を含めた性能評価やカメラ全体の冷却機構、検出効率を上げるためのライトガイドの設計と開発を行なってきた。本講演では、LST 初号機用カメラの最終デザインについて報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V338b

CTA 大口径望遠鏡初号機建設に向けた光学系最終デザインと品質管理

林田将明, 稲田知大, 黒田隼人, 手嶋政廣, 中島大輔, 深見哲志 (東大宇宙線研), 加賀谷美佳, 片桐秀明, 重中茜, 本橋大輔, 吉田龍生 (茨城大理), 齋藤隆之 (京大理), 千川道幸 (近畿大理工), 山本常夏 (甲南大理工), 奥村暁 (名大 ISEE), 野田浩司 (MPI for Physics) 他 CTA-Japan Consortium

CTA(Cherenkov Telescope Array) 計画は、主鏡口径の異なる複数の種類の撮像型大気チェレンコフ望遠鏡数十台をアレイ状に配置する。チェレンコフ望遠鏡は、宇宙から飛来する高エネルギーガンマ線が地球大気に突入後発せられる「チェレンコフ光」を検出することで、間接的にガンマ線を観測する方式であり、CTA にて、観測可能エネルギー領域の閾値 (下限) をチェレンコフ望遠鏡未踏の 20 GeV まで到達させる予定である。そのためには、直径 23m の最大主鏡口径を有する大口径望遠鏡 (Large Size Telescope: LST) にて、かつてないほど高い集光性能で大気中からの微弱なチェレンコフ光を検出することが必要不可欠であり、光学系はキーとなるエレメントである。現在、CTA 北サイト、スペイン・カナリア諸島ラパルマ島にて LST 初号機の建設が開始されており 1 年以内の完成を目指している。LST の開発・建設に日本は主要な役割を担っている。主鏡には辺辺が 1.51m の六角形の分割球面鏡約 200 枚が焦点距離 28m の放物面状に配置される。その分割鏡全て日本にて生産が進められており、'2f 法' にて鏡面精度の全数評価を行っている。また、望遠鏡構造体のたわみにより分割鏡の光軸にずれが生じるが、個々の分割鏡の向きを観測中にも能動的に補正するシステム『Active Mirror Control』を備えており、望遠鏡試験部分構造体を用いた屋外試験により 14 秒角以内にて補正可能なことを示した。本講演では、LST の光学系最終デザインを紹介し、LST 初号機建設に向けた光学系コンポーネントの製造状況とその性能・品質管理について報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V339a 小型衛星計画 DIOS 搭載 4 回反射 X 線望遠鏡開発の現状

萬代絢子, 馬場崎康敬, 菅沼亮紀, 関大策, 田原讓, 三石郁之 (名古屋大学)

宇宙の大規模構造に沿って分布しているとされる中高温銀河間物質の空間構造を解明するため、小型衛星 DIOS (Diffuse Intergalactic Oxygen Surveyor) は大有効面積かつ広視野の X 線望遠鏡を必要とする。このために我々は、従来の 2 回反射光学系にかわり、4 回反射光学系を持つ FXT(Four-stage X-ray Telescope) を開発している。FXT は厚さ 0.22 mm, 高さ 36 mm の円錐近似した反射鏡を同心円状に多数配置した構造を持つ。焦点距離は 700 mm, または 1200 mm で、要求されている性能は $S \cdot \Omega > 100 \text{ cm}^2 \text{ deg}^2$ 、結像性能 5 分角以下である。

これまでに、反射鏡支持機構アライメントプレートの位置を微調整することで反射鏡の位置決め誤差による角分解能の劣化を 1 分角以内に抑えられることがわかっている (萬代他 2016 年春季年会など)。アライメントプレートに関しては、溝内の遊びによる位置決め誤差の減少及び部分的に生じる過度の拘束抑制のため、支持プレートと位置決めプレートの 2 枚方式を導入した。そして可視光を利用した反射像の評価により、この新機構の効果を確認した。また、反射鏡を望遠鏡筐体に搭載した状態の形状を微細形状測定システム UMAP によって定量的に評価した。

さらに、現状の反射鏡の形状はアルミ金型の形状を反映している可能性がある。より形状精度の高い金型を作るためにワイヤーカットとマシニングセンタによる加工法を検討した。両者の方法で加工した金型をそれぞれ CNC 三次元測定器測定機を用いて測定した。その結果、例えば円錐頂角の設計値からのずれはマシニングセンタを用いた方が 10 倍良いことがわかった (0.001 度のずれ)。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V340a 4 回反射を用いた大有効面積 X 線望遠鏡の提案

馬場崎康敬、田原譲、松本浩典、三石郁之 (名古屋大学)

4 回反射型 X 線望遠鏡はその最初の応用としてダークバリオン探査衛星計画 DIOS 搭載の軟 X 線 (< 1 keV) 観測用高感度望遠鏡が開発されてきた。一方、鉄 K 輝線を含む ~ 10 keV までの X 線観測用に開発された従来の 2 回反射型望遠鏡は数 m の焦点距離を仮定するとその有効面積は数 100 cm^2 にとどまっている。しかし数 m の焦点距離の望遠鏡に 4 回反射光学系を導入するとさらなる大口径化が可能となり、単一望遠鏡でこれまでの数倍の有効面積が期待できる。

ロケットで打ち上げられる衛星のサイズ・重量には限界があるため、望遠鏡は短焦点距離・軽量であることが望ましい。そこで我々は、できるだけ短い焦点距離および軽い重量で大有効面積をもつ 4 回反射型 X 線望遠鏡を設計するために、光線追跡シミュレーションにより、焦点距離と最大有効口径、有効面積、反射鏡重量の関係を調べた。その結果、例えば 70 kg の反射鏡重量を許した場合、ひとみ衛星搭載軟 X 線望遠鏡に比べ、2 倍の有効面積 (~ 1100 cm^2 @ 6.7 keV) をもち、且つ焦点距離が 30% 短い (~ 4 m) 望遠鏡を設計できることが分かった。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V341a **FORCE 高角度分解能硬 X 線望遠鏡に向けた、成膜による変形の克服**

佐治重孝, 松本浩典, 田村啓輔, 小林洋明, 中野慎也 (名古屋大学), Will Zhang, 岡島崇 (NASA GSFC), 他 NGHXT グループ一同

FORCE (Focusing On Relativistic universe and Cosmic Evolution) は、0.5–80 keV の広エネルギーバンド・15 秒角 (HPD) 以下の高空間分解能で撮像分光観測を行う小型衛星計画である。主な目的のひとつは、宇宙 X 線背景放射を空間分解し、巨大ブラックホールの進化を解明することである。

本計画で用いる望遠鏡には、サブミクロンの表面形状精度をもつ薄板反射鏡 (厚さ 0.4 mm 程度) が求められる。これまでに、薄板ガラスの整形や Si ブロックからの削り出しで作られた反射鏡基板では十分な形状精度が実現されている。一方で、基板上に X 線反射膜を成膜すると膜の内部応力で基板が歪み、結像性能が悪化する。名古屋大学では、この成膜による変形の抑制法を調査してきた。30 mm×70 mm の薄板ガラス平板を用いた調査で、Pt や Ir 単層膜では成膜面が凸 / Ni+V 合金では凹に変形することや、基板両面への成膜で変形を約 11 % に抑えられること等を明らかにした (2016 年秋春季年会にて報告)。

今回、実際の望遠鏡を想定した $\phi \sim 490$ mm、1/12 円周相当、長さ 200 mm の薄板ガラス製反射鏡基板に成膜し、変形を調査した。約 670 Å の Pt 単層膜を成膜した結果、PV で 1.6 μm 、RMS で 0.5 μm の変形を生じた。この変形は、結像性能にして 38 秒角 (HPW) に相当した。これまでに得ていた結果を考慮すると、実際の望遠鏡で使用されるような 4000 Å の多層膜スーパーミラーを成膜した場合、結像性能は 1 分角程度悪化すると予想される。ただし、基板両面に成膜し、応力をキャンセルさせることで、結像性能の悪化を抑えられる可能性がある。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V342a X線多重像干渉計の概念検討と基礎実験

林田 清、川端智樹、久留飛寛之、志村考功、細野 凌、中嶋 大、井上翔太、常深 博（大阪大学）

X線天文衛星の角度分解能は、Chandra 衛星搭載の望遠鏡が達成した 0.5 秒角が最高である。これをこえることは容易ではなく、実際、2020 年代後半打ち上げ予定の超大型 X 線天文台 ATHENA でも角度分解能は 5 秒角である。より高い角度分解能の撮像（あるいは X 線天体のサイズ測定）をめざした X 線干渉計画も提案されているが、精密な光学系が必要で、具体的見通しは不明である。

我々は、光学系を用いない新しいタイプの干渉計を提案している。構造は、数ミクロンピッチの回折格子と X 線位置 & エネルギー検出器だけを組合わせた単純な形式で、タルボ効果によりできる多数の格子自己像を利用する。この構成は、生体の位相コントラスト撮像法として開発されている X 線タルボ干渉計をベースにしているが、測定対称もデータ処理も異なるため、X 線多重像干渉計と仮称している。5 μm ピッチの回折格子を使い、0.1nm(12keV) の X 線を対象とすると、第一周期の像ができる距離は 25cm、自己像の幅は 2 秒角に対応する。パラメータ最適化で Chandra 衛星を超える分解能も見込める。

現在、基礎実験として、マイクロフォーカス X 線源、数種類の X 線回折格子、そして XRPIX 検出器を組み合わせた装置で格子像の撮影を行っている。この実験の現状と、X 線多重像干渉計の最適化と問題点、感度評価、二次元化の可能性に関して報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V343a 湾曲結晶鏡の X 線分光実験及び評価

鈴木涼太, 坪井陽子 (中央大学), 飯塚亮 (宇宙科学研究所), 泉谷喬則, 佐々木亮, 白井沙季 (中央大学)

近年、X 線天文学において、偏光の測定が可能な観測機器の開発が行われてきている。X 線天文学に偏光の情報が加わると、位置、エネルギー、時間に加えて4つの情報を得ることが出来るようになる。我々の研究室では、湾曲した結晶と CCD を用いて、X 線のエネルギーと偏光情報を同時に得られる観測機器の研究開発を行っている。これが実現すれば、X 線のエネルギーと偏光方向に制限を付けることにより、恒星などで発生した X 線の発生メカニズムどうなっているかを観測することが可能になるであろう。本研究では、相模原の宇宙科学研究所において、我々の研究室で作成した湾曲した結晶に、標準 X 線発生装置から出力した X 線を当てる実験を行い、作成した結晶鏡の X 線のエネルギースペクトル検出器としての性能を評価した。X 線発生装置のターゲットに Cu を用いて、Cu の $K\alpha$ 線に対して分光が行えるかどうかについて、その分解能はどれほどかについてを調査した結果、現段階で 66 eV という CCD 単独以上のエネルギー分解能を持つことが明らかになった。実験の方法と、その解析の方法に関して報告をする。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V344a X線偏光観測衛星 PRAXyS の進捗状況

玉川 徹, 岩切 渉, 中野俊男, 早藤麻美 (理研), 北口貴雄, 水野恒史, 深沢泰司 (広島大), 榎戸輝揚 (京都大), 窪田 恵, 西田和樹 (理研/東理大), 田原 譲, 三石郁之 (名古屋大), 幅 良統 (愛教大), 林田 清 (大阪大), Keith Jahoda, Joanne Hill (NASA/GSFC), ほか PRAXyS 衛星チーム

Polarimeter for Relativistic Astrophysical X-ray Sources (PRAXyS) は、NASA ゴダード宇宙飛行センターが主導し日本が国際協力で参加する、X線偏光観測に特化した小型衛星 (NASA Small Explorer; SMEX) である。「すざく」衛星タイプの X線ミラーと、その焦点面に光電子追跡型のガス X線偏光計を置いた、X線偏光望遠鏡を2台搭載する。X線偏光観測は、高エネルギー天体の幾何構造や磁場を探るすぐれた手段として期待されているが、可視光や電波にくらべ高感度な偏光計を製作するのが技術的に難しいことや、十分な光子統計が必要なことから、これまでほとんど実施されてこなかった。PRAXyS はブラックホール、中性子星、超新星残骸などを2–10 keV 帯域で、約1%の最小偏光検出感度で観測する。2 mCrab ($\sim 4 \times 10^{-11}$ erg s⁻¹ cm⁻²) 程度の暗い天体であっても、 4×10^6 sec の観測でこの感度に到達する。

われわれは2014年12月にPRAXyS衛星をNASA SMEX公募に提案し、2015年7月末にPhase A (概念設計) に採択された。今回選定されたのは3プロジェクトで、そのうち2つ (PRAXyS と IXPE) が X線偏光観測衛星である。2016年7月にConceptual Study Report (CSR) を提出し、審査を経て、2017年2月に1プロジェクトに絞り込まれる。PRAXyS が採択された場合は、2020年8月に打ち上げられる予定である。本講演では CSR としてまとめ上げた PRAXyS プロジェクトの概要と、期待される性能、国際協力としての日本グループの責任と権利などについて紹介し、搭載機器の較正試験等について、プロジェクトの進捗状況を報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V345a 硬 X 線偏光検出器 PoGOLite 気球実験:2016 年の再フライト

高橋弘充 (広島大) PoGOLite チーム

偏光観測は、シンクロトロン放射を生じる磁場、光源の周囲で散乱を起こす物質のジオメトリなど、他の観測手法とは相補的な物理量を調べることができる重要な観測手法の1つである。X 線やガンマ線の帯域でも世界中で様々なミッションが進行しているが、人工衛星による本格的な観測は現時点ではまだほとんど実現されていない。そのため、これまでの有意な偏光検出の報告は、ガンマ線バーストや「かに星雲」、「はくちょう座 X-1」など数例の天体について、さらにエネルギー帯域も限られたものになっている。こうした中、日本とスウェーデンの国際プロジェクトである PoGOLite 気球実験では、25–100 keV というこれまで未開拓な硬 X 線・軟ガンマ線帯域において世界に先駆けて天体からの偏光検出を目指している。

PoGOLite の最初のフライトは 2013 年にスウェーデン・キルナ市にある Esrange 気球実験場において実施された。この際は X 線天体として「かに星雲」の観測を実施することはできたが、偏光計の電源系トラブルにより、観測データは 3 日分しか取得することができなかった。こうした状況を踏まえ、PoGOLite チームでは今年 2016 年 7 月に再度 Esrange 気球実験場から数日以上の長期フライトを行う予定である。検出器全体としては、電源系の不具合を解消し、また前回のフライトでは熱くなりすぎってしまった熱環境を改善している。偏光計については、実際のフライトで得られたバックグラウンド情報や検出器の振る舞いを考慮し、より偏光信号への感度を高める改良を行った。すでに検出器とゴンドラの組み上げは完了しており、現在は方球に向けて最終確認が着々と進められている。本講演では、2016 年の再フライトに向けての改良点や準備状況に加え、実際のフライトの様子についても報告する予定である。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V346a 硬 X 線偏光検出器 PoGOLite の読み出し回路の改良 (2)

大橋礼恵, 高橋弘充, 河野貴文, 内田和海, 水野恒史, 深沢泰司 (広島大学), 他 PoGOLite チーム

PoGOLite(Polarized Gamma-ray Observer-Light version) チームは 2016 年 7 月にスウェーデンにおいて硬 X 線帯域での偏光観測を予定している。PoGOLite の偏光計は、61 本のフォスウィッチ型の主検出部 (プラスチックと BGO($\text{Bi}_4\text{Ge}_3\text{O}_{12}$) シンチレータ) とそれを取り囲む 30 本の BGO アクティブシールドで構成されている。またバックグラウンド源である中性子フラックスをモニターするために 2 個のフォスウィッチ型の熱中性子検出器 (LiCAF(LiCaAlF_6) と BGO シンチレータ) を搭載する。

我々日本チームでは、この全 93 本の光電子増倍管からの信号を処理する読み出し回路の改良を行った。前回の年会において報告したように、Flash ADC(FADC) ボードのチャンネル数を 2 倍にしてボード数を半減させ、消費電力を 2/3 に抑えた。フォスウィッチ検出器の波形弁別には、プラスチック、BGO、LiCAF シンチレータの発光の減衰時定数 2, 300, 1200 ns の弁別が必要である。加えてプラスチックシンチレータにおける数 10 ns の時定数の発光を精密に計測することで、高速中性子イベントをガンマ線と波形弁別し除去できることが期待されることから、ADC のサンプリングレートを 37.5 MHz から 100 MHz に向上させた。

FADC ボード上の Field Programable Gate Array(FPGA) には、前回のフライト同様、偏光観測用に波形弁別してガンマ線信号のみ保存、健康診断用にエネルギースペクトルを保存する機能を実装してある。今回、以下の 2 機能を加えた。(1) 偏光観測には 2 検出器でヒット (コンプトン散乱 + 光電吸収) したシグナルのみが必要である。そのため、複数ヒットのシグナルのみ保存する機能。(2) 光電子増倍管のアフターパルスを除去するため、前のイベントからの待ち時間を保存する機能。本講演では、これら FPGA のプログラムについて報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V347a ガンマ線バーストを用いた初期宇宙探査計画 HiZ-GUNDAM の進捗 (5)

米徳大輔 (金沢大学), ほか HiZ-GUNDAM ワーキンググループ

ガンマ線バースト (GRB) は宇宙最大の爆発現象であり、初期宇宙を見渡す道具として利用されている。これまでに分光観測では赤方偏移 $z = 8.26$ が、測光観測では $z = 9.4$ が報告されており、将来はより遠方の宇宙を観測できると期待されている。そこで我々は、GRB を用いて赤方偏移 $z > 7$ における宇宙再電離や重元素合成、星形成歴などの現代宇宙論の重要課題に挑戦するための小型科学衛星 HiZ-GUNDAM を計画している。強く赤方偏移を受けた GRB を数 keV の X 線帯で検出し、自律制御で衛星姿勢を変更して追観測を実施する。GRB 直後の明るい近赤外線残光を利用して赤方偏移を同定し、地上の大型望遠鏡と協力しながら高分散スペクトルを取得することで初期宇宙の物理状態を解明したいと考えている。2016年1月末に、宇宙科学研究所の公募型小型計画に対して提案を行った。その際に取りまとめたミッション要求・概念検討について紹介した上で、フルサクセスを達成した場合に期待される成果について報告する。銀河間物質 (IGM) の電離度が 50%程度を想定した場合、3年のミッション期間中に $z > 7$ の GRB を用いて、4,511例の中性 IGM の検出が期待でき、 $z > 10$ に対してでも 1.54.5 例の検出が可能となる。また、 $z > 7$ の GRB 発生率を誤差 30%よりも良い精度で測定可能となるため、初期宇宙のブラックホール形成史および進化に対して大きく貢献できる。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

V348a 超小型衛星搭載を目指した重力波同期 X 線用撮像検出器の撮像システム開発

加川保昭, 米徳大輔, 澤野達哉, 吉田和輝, 伊奈正雄, 太田海一, 南雄己 (金沢大), 池田博一, 原山淳 (ISAS/JAXA), 有元誠 (早稲田大)

Advanced LIGO による GW150914 の観測により、重力波天文学の幕が開けた。2018 年度には LIGO に加え、KAGRA、Advanced Virgo が本格的に稼働し始め、様々な高密度星からの重力波観測が期待されている。一方で、重力波干渉計のみの観測では重力波の到来方向を数 100 平方度と非常に粗く見積るため、多波長による追観測に至るのは難しい。追観測により詳細に重力波パラメータを決定出来れば超重力場での物理を議論することができるため、これを実現し得る重力波と同期した電磁波観測による方向決定が重要となる。

我々は重力波と同期した突発 X 線を監視する広視野 X 線撮像検出器を開発している。また、検出器を金沢大学独自開発の超小型衛星へ搭載し、2018 年度の打上げ、重力波対応天体探査を計画している。撮像には 1 次元の符号化マスクとシリコンストリップ検出器 (SSD) を、読み出しには高利得集積回路 (ASIC) を用いている。SSD に現れる X 線強度分布とマスクパターンの相互相関をとることで位置情報を得る。重力波源の有力な候補天体である連星中性子星の衝突合体時に同時に生じると考えられている短時間ガンマ線バースト (SGRB) や、SGRB に付随して 100 秒程度続く Extended Emission に対応するため、数秒から数百秒の時間積分による X 線撮像、画像処理演算が要求される。これらの機能を ASIC 駆動用 FPGA 上に構築することで、超小型衛星上の限られたリソースで演算の高速化や低電力化を実現できる見込みである。本講演ではデータリダクションの仕様や画像処理系のデジタル回路設計を紹介し、超小型衛星搭載のプロトタイプモデルの撮像、バースト検知性能について報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

【W1. コンパクト天体】

9月15日(木) 午前(09:30-11:30) [H会場]

- | | | |
|--------------|-------|--|
| W101a | 09:30 | 銀河系中心核 Sgr A* の 43 GHz 帯における光度曲線の周期性解析 岩田悠平 (慶應義塾大学) |
| W102a | 09:42 | X 線と可視光の同時モニタで迫る巨大ブラックホール降着流の幾何構造 野田博文 (東北大学) |
| W103a | 09:54 | Super-Eddington 光度下でのブラックホール Hyper-Eddington 降着流 櫻井祐也 (東京大学) |
| W104a | 10:06 | 近似ネットワークを用いた Type I X 線バーストシミュレーション 松尾康秀 (九州大学) |
| W105a | 10:18 | diskEQ モデルの MAXI J1659-152 への応用と状態遷移中の円盤の成長 久保田あや (芝浦工業大学) |
| W106a | 10:30 | X 線スペクトル構造から探る ULX 天体における降着描像への制限 小林翔悟 (東京大学) |
| W107a | 10:42 | High Mass X-ray Binary における恒星風と降着流の整合性 谷治健太郎 (首都大学東京) |
| W108a | 10:54 | ULS と ULX の統合モデル 小川拓未 (京都大学) |
| W109a | 11:06 | ブラックホール連星 V404 Cyg の可視光から X 線の広帯域同時観測 吉井健敏 (東京工業大学) |
| W110a | 11:18 | 可視偏光観測による X 線連星 V404 Cyg の星間吸収量推定 伊藤亮介 (東京工業大学) |

9月15日(木) 午後(13:30-15:30) [H会場]

- | | | |
|--------------|-------|---|
| W111a | 13:30 | 相対論的球対称流の相対論的形式解と簡単な応用例 福江純 (大阪教育大学) |
| W112a | 13:42 | ブラックホール球対称風における光子捕捉効果 折橋将司 (大阪教育大学) |
| W113a | 13:54 | ブラックホール回転エネルギー引抜き因果的機構 II 小出真路 (熊本大学) |
| W114a | 14:06 | 超高輝度超新星を明るくするマグネターの楕円率への制限 守屋堯 (国立天文台) |
| W115a | 14:18 | 強磁場中性子星マグネター定常放射のナノフレア加熱モデル 竹重聡史 (京都大学) |
| W116a | 14:30 | コア磁場とクラスト磁場を考慮したマグネター磁場の減衰 藤澤幸太郎 (早稲田大学) |
| W117a | 14:42 | MOA 望遠鏡を使った重力波フォローアップシステムの開発及び運用 朝倉悠一郎 (名古屋大学) |
| W118c | | X 線衛星「すざく」と NuSTAR によるブラックホール X 線連星 H 1743-322 の同時観測 志達めぐみ (理化学研究所) |
| W119b | 14:54 | Swift 衛星 XRT による X 線連星 GRS 1739-278 のブラックホール質量推定 須藤雅之 (芝浦工業大学/理化学研究所) |
| W120b | 14:54 | MAXI/GSC の最大有効データ利用と BHC の光度曲線への応用 増満隆洋 (日本大学) |
| W121b | 14:54 | 「すざく」衛星による SS433 東側 X 線ローブの観測 内山秀樹 (静岡大学) |
| W122b | 15:06 | TeV ガンマ線連星 HESS J0632+057 と 1FGL J1018.6-5856 における近赤外線放射の軌道依存性 千栴翔 (東海大学) |
| W123b | 15:06 | Ghosh & Lamb の式と Be 型 X 線連星パルサー X Per の中性子星の磁場 高木利紘 (理化学研究所/日本大学) |
| W124b | 15:06 | マグネター磁気圏における X 線放射の偏光 矢田部彰宏 (早稲田大学) |
| W125b | 15:18 | パルサー磁気圏からのシンクロトロン放射 木坂将大 (青山学院大学) |
| W126b | 15:18 | ボルツマン方程式を用いた一般相対論的輻射輸送計算コードの開発 牧野芳弘 (京都大学) |
| W127c | | 2SC カラー超伝導を考慮した高密度星の冷却 野田常雄 (久留米工業大学) |

(次頁に続く)

【W1. コンパクト天体】

9月16日（金）午前（09:30-11:30）[H会場]

- | | | |
|--------------|-------|---|
| W128a | 09:30 | 国際宇宙ステーション搭載予定 NICER ミッションの進捗とサイエンス 榎戸輝揚（京都大学） |
| W129a | 09:42 | 「すざく」衛星による低質量 X 線連星 Sco X-1 の硬 X 線放射の観測 (2) 岡田千穂（広島大学） |
| W130a | 09:54 | 「すざく」を用いた LMXB のスペクトル状態遷移の研究 小野光（東京大学） |
| W131a | 10:06 | MAXI/GSC と Swift/BAT による LMXB の Z ソースのコンプトン成分 II 浅井和美（理化学研究所） |
| W132a | 10:18 | Be 型 X 線連星パルサー GX304-1 の X 線アウトバーストの観測 中島基樹（日本大学） |
| W133a | 10:30 | Possible regular phenomena in EXO 2030+375 Eva Laplace（University of Tübingen; RIKEN） |
| W134a | 10:42 | MAXI/GSC と Fermi/GBM による Be/X 線連星パルサーの連続監視データを用いた降着トルクによる中性子星スピニングアップの定量的検証 杉崎睦（理化学研究所） |
| W135a | 10:54 | MAXI が検出した 2016 年度前半の突発現象と MAXI J0911-655 と MAXI J0758-456 の発見とその正体 根来均（日本大学） |
| W136a | 11:06 | 強磁場中性子星極冠への超臨界降着柱の輻射流体シミュレーション：ULX パルサーへの応用 川島朋尚（国立天文台） |
| W137a | 11:18 | 2 次元輻射流体計算から迫る、宇宙初期の超大質量ブラックホールの起源 竹尾英俊（京都大学） |

9月16日（金）午後（13:30-14:54）[H会場]

- | | | |
|--------------|-------|---|
| W138a | 13:30 | 電波パルサーの X 線光度を決定する要因について 柴田晋平（山形大学） |
| W139a | 13:42 | M31 で発見された X 線パルサーは中質量 X 線連星か？ 鷹野重之（九州産業大学） |
| W140a | 13:54 | 降着駆動型 X 線パルサー GX 1+4 の輝線放射領域 吉田裕貴（立教大学） |
| W141a | 14:06 | NuSTAR 衛星による降着駆動型パルサー 4U 1626-67 の観測 岩切渉（理化学研究所） |
| W142a | 14:18 | 単独中性子星 RX J1856.5-3754 からの keV X 線超過成分の発見 米山友景（大阪大学） |
| W143a | 14:30 | Swift 衛星を用いた強磁場パルサーの系統的観測 渡邊瑛里（山形大学） |
| W144a | 14:42 | ガンマ線連星 PSR B1259 + 63 と HESS J0632 + 057 の近赤外偏光観測 森谷友由希（東京大学） |

W101a 銀河系中心核 Sgr A* の 43 GHz 帯における光度曲線の周期性解析

岩田悠平, 岡朋治 (慶應義塾大学), 三好真 (国立天文台)

銀河系中心核 Sgr A* は、強烈な点状電波源として認識されており、 $M \sim 4 \times 10^6 M_{\odot}$ の超大質量ブラックホール (SMBH) を内包していると考えられている。しかしながら、ブラックホールの確固たる証拠は未だ見出されておらず、Sgr A* は一つの「BH 候補天体」に過ぎない。一般的に BH 候補天体は、その輻射強度変動に準周期的振動 (QPO) と呼ばれる特有の変動を伴うことが知られている。これは BH 周りの降着円盤内における軌道運動とエピサイクリック運動との間の共鳴現象に起因するものと解釈されており、一般相対論的效果の発現および BH の存在証拠の一つとして考えられている。Sgr A* もまた、過去の近赤外線/X 線フレア中において QPO の検出が報告されており、電波領域では 43 GHz 帯で Sgr A* 空間構造の変化を伴う QPO の暫定的検出が報告されている。

今回我々は、先行研究にて QPO 暫定的検出の報告があった VLBA による 43 GHz 帯データを再解析し、光度曲線を用いた強度変動の周期解析を入念に行った。2004 年 3 月 8 日のデータを解析した結果、Sgr A* は 43 GHz において 13% 変動し、少なくとも 14.6, 32.1 分に有意な周期的振動を示す事が分かった。これらの周期を降着円盤の振動モデルにフィットした結果、Sgr A* のスピンパラメータ a_* は $a_* = 0.56 \pm 0.15$ と求められた。この 1 より有意に小さい a_* の値は、複数の BH 候補天体についての評価 (Kato et al. 2010) と矛盾せず、これは BH からの角運動量抜き取り過程の存在を示唆している。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

W102a X線と可視光の同時モニタで迫る巨大ブラックホール降着流の幾何構造

野田博文(東北大)、峰崎岳夫、小久保充、諸隈智貴、土居守、森谷友由希、中澤知洋(東大)、渡辺誠(岡理大)、中尾光、今井正堯(北大)、河口賢至、高木勝俊、川端美穂、中岡竜也、川端弘治、植村誠、深沢泰司、吉田道利(広大)、森鼻久美子、伊藤洋一(兵庫県立大)、高木悠平(国立天文台)、新井彰(京産大)、伊藤亮介、斉藤嘉彦(東工大)、山田真也(首都大)、牧島一夫(理研)

セイファート銀河中心の巨大ブラックホール(BH)への降着流の状態は長年論争が続いている。X線研究では、頻繁に相対論的スペクトル成分の存在が仮定され、ソフト状態の降着円盤が事象の地平線に到達して、コンパクトなX線源が円盤を照らす「ランプポスト描像」が提案される(e.g., Uttley 他 14)。一方、エディントン比 η が1%を下回る天体も珍しくなく、ホットな降着流が卓越するハード状態の方が自然な場合も多い(e.g., 野田他 14)。

我々はBH降着流の状態に迫るため、2013年4月から2014年4月にかけて、X線天文衛星「すざく」と日本の地上望遠鏡(ピリカ、木曾シュミット、MITSuME、なゆた、かなた)を用いて、NGC 3516のX線と可視光の同時モニタを行った。その結果、 $\eta < 0.01$ となる暗い時間帯を捉え、X線と可視光強度が強く相関することを確認した(野田他 2014年春季年会 S27a、2015年春期年会 S30a)。さらに、相互相関解析から、可視光がX線に対して $\tau \sim 2$ 日の時間遅延を示し、可視光の変動が、 ~ 2 光日離れた領域からのX線照射で生じることを突き止めた。

本結果をランプポスト描像で解釈する場合、BHから可視光を放射する領域までの距離を ~ 2 光日に広げるためには $\eta \sim 4$ が要求され、実測した $\eta < 0.01$ と矛盾する。一方、円盤が半径 $\gtrsim 2$ 光日で途切れ、内縁部にホットな降着流が形成されていれば、内縁部の黒体放射が無くなることで η が下がるため、 τ との矛盾を解消できる。よって、NGC 3516のX線と可視光の相関は、ハード状態の降着流を考慮すれば、よく説明できることが分かった。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

W103a Super-Eddington 光度下でのブラックホール Hyper-Eddington 降着流

櫻井祐也 (東京大学), 稲吉恒平, Zoltán Haiman (Columbia University)

赤方偏移 6 を越える初期宇宙で観測されている質量が $10^{8-9} M_{\odot}$ 以上の超巨大ブラックホール (SMBH) は、過去に急速な成長をしたと考えられている。SMBH の形成モデルの 1 つとして、我々は周辺のがスが Eddington 降着率を越える勢いで BH に降着するモデルを考える。一般に、BH 近傍で解放されたガスの重力エネルギーは輻射として放出されるが、その輻射圧や電離加熱によりガス降着が阻害される可能性がある。最近、Inayoshi, Haiman, Ostriker (2016) は、Bondi 半径から BH 近傍までの広い空間スケールにわたる降着流の解を、輻射流体シミュレーション (一次元球対称) を用いて調べた。結果、光子捕獲によって BH 近傍からの輻射光度は Eddington 光度以下に抑えられ、かつ、降着率が $5000 L_{\text{Edd}}/c^2$ を超える定常流 (hyper-Eddington 降着) が実現されることが分かった。また、別の近年の研究で、BH 降着円盤から輻射が放出される場合、球対称性の破れから光子捕獲の効率が悪いときは、光度が $\sim 10 L_{\text{Edd}}$ に達することが示唆されている。本研究では、そのように光度が L_{Edd} を越える場合を想定して、先行研究と同様のシミュレーションを行った。結果、中心光度が $\sim 10 L_{\text{Edd}}$ を越えない限りは、定常的な hyper-Eddington 降着は実現されることが分かった。また、中心からの外向きの輻射圧 (電離領域) と降着流 (中性領域) に挟まれた shell の運動を簡単なモデルを使って議論し、シミュレーションの結果得られた hyper-Eddington 降着の必要条件を解析的に理解した。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

W104a 近似ネットワークを用いた Type I X 線バーストシミュレーション

松尾康秀, 橋本正章, 町田真美 (九大理), 野田常雄 (久留米工大), 藤本正行 (北海学園大)

Type I X 線バーストとは中性子星を主星とする低質量 X 線連星における X 線増光現象の一つであり、そのメカニズムは中性子星に降着した物質の不安定核燃焼と考えられている。この現象の解明のため、多くの研究者によって研究がなされてきた。1980~90年代に“one zone model”と呼ばれる比較的計算コストの低い手法を用いた研究が行われ (Wallace & Woosley 1981,1984; Hanawa et al. 1983)、Schatz らによって *rp*-process の重要性やその到達点が $A \simeq 107$ 程度になることが明らかとなった (Koike et al. 1999; Schatz et al. 1998, 2001)。2000年代に入ると、球対称を仮定した“multi-zone model”による研究が行われるようになり (Woosley et al. 2004; Fisker et al. 2008)、さらに最近では X 線バーストの多次元シミュレーションも行われている (Zingale et al. 2015)。

これらのシミュレーションには、少なくとも $A \leq 107$ までの 300 核種程度の核反応ネットワークを用いた元素合成計算が必要である (José et al. 2010)。これを計算するコストは比較的高く、球対称を仮定したモデルでさえほんの数モデルしか計算されていない。X 線バーストシミュレーションには、少なくとも質量降着率や中性子星の質量をパラメータとすべきだが、現状そのような研究は難しい。

そこで我々はより多くのモデルを計算できるようにするため、近似ネットワークを新たに構築した。従来の近似ネットワークでは、*rp*-process の endpoint までの核種が考慮されておらず、さらに古い反応率に基づいた反応経路が仮定されている。これらを修正した新しい近似ネットワークを構築し、X 線バーストシミュレーションを示す。本発表ではその詳細を発表する。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

W105a **diskEQ モデルの MAXI J1659-152 への応用と状態遷移中の円盤の成長**

久保田あや (芝浦工業大学)、Chris Done(Durham U.)

ブラックホール (BH) の very high state (VHS) は、降着率が最も高い状態であると同時に、光学的に薄く幾何学的に厚い降着流が支配的な low/hard 状態 (LHS) から、光学的に厚く幾何学的に薄い降着円盤が支配的な high/soft 状態 (HSS) にいたる過渡状態である。スペクトルは、HSS に典型的な降着円盤からの軟 X 線放射とともに強い硬 X 線放射を特徴とし、両者の幾何学的配置を決定することは、LHS から HSS への降着円盤の発達を理解する上で、極めて重要である。我々は、円盤とコロナのエネルギーカップリング、コロナの非熱的電子分布、さらに円盤コロナの内側に存在すると考えられる内縁流を記述できる円盤コロナモデル diskEQ モデルを構築し、すざくで観測された GX339-4 のデータに当てはめ、スペクトルが非常によく再現できることを示した (Kubota & Done 2016)。すざくで観測した BHB の VHS は、この GX339-4 の他に MAXI J1659-152 などがあり、GX339-4 の観測が遷移の最終時期 (HSS の直前) に行われたのに対し、MAXI J1659-152 の観測は、遷移の開始時期での観測であった。両者を比較することで、low/high 遷移における円盤の発達を理解することができる。GX339-4 の VHS では、コロナがほぼ完全に非熱的で、非熱的コロナに覆われた円盤は $3R_{\text{in}}$ 程度で消失し、その内側では、 $\tau \sim 2.8$ 程度の非熱的な降着流が内縁半径の 2 倍程度の距離まで存在していた (Kubota & Done 2016)。これに対し、MAXI J1659-152 では、内縁流が発達しており、 $\tau \sim 3.8$ 程度の内縁流が内縁半径の 4 倍程度と相対的に大きく、その一方で円盤コロナ領域は縮小していることがわかった。内縁流は QPO の起源とも考えられており、GX339-4 で検出された QPO 周波数 5Hz (Tamura et al. 2011) に対して、MAXI J1659-152 の QPO 周波数は 3Hz (田村修論) であることと矛盾なく理解できる。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

W106a X線スペクトル構造から探る ULX 天体における降着描像への制限

小林翔悟、中澤知洋 (東大理)、牧島一夫 (理研)

Ultra Luminous X-ray sources (ULX) は、渦巻き銀河の腕や不規則矮小銀河など、星形成が活発な領域で見られる大光度の X 線天体で、その光度 ($L_X = 10^{39.5-41} \text{ erg sec}^{-1}$) は、恒星質量 ($\sim 10 M_\odot$) ブラックホール (BH) のエディントン限界光度 (L_{Edd}) を 1-2 桁も上回る。その正体は、恒星質量 BH への超臨界降着による $\gg L_{\text{Edd}}$ な放射とする説 (嶺重+2007) と、中間質量 ($100 - 1000 M_\odot$) BH への亜臨界降着による $\leq L_{\text{Edd}}$ な放射とする説 (牧島+2000) が、20 年以上にわたって拮抗している。

ULX の X 線スペクトルには、光子指数 ~ 1.7 の硬い連続成分 ($\sim 8 \text{ keV}$ での折れ曲がりと $\leq 2 \text{ keV}$ での超過あり) Power-Law (PL) 型と、上に凸で軟い Multi-Color Disk (MCD) 型がある。数個の ULX は、これらの間を遷移することがわかっており、それらが状態遷移を起こす臨界光度を調べると、異なる ULX 間で ~ 20 倍もばらつきた。BH 連星と同様、状態遷移が、ほぼ一定の L_X/L_{Edd} 比で起こると仮定すると、ULX の質量も同様の幅をもつ必要がある (小林+2016)。また各々のスペクトルは連続成分のみで記述でき、輝線・吸収線・光電吸収などは、あったとしても他の降着天体に比べ微弱である。このスペクトル構造の乏しさを説明するには、ULX の周辺にこれらの 2 次プロセスを担える物質が極めて乏しいか、大光度で完全電離している必要がある。いずれの場合でも、短時間で効率よく物質を降着させ、かつ効率よく放射を行わなければならないため、開放された重力エネルギーの多くが、放射されるずに BH に飲み込まれてしまう超臨界降着では、この観測事実の説明が難しい。このことから ULX は $\leq L_{\text{Edd}}$ で輝く $100 - 2000 M_\odot$ の中間質量 BH である可能性が高く、そのような BH の存在は LIGO による重力波の検出とも整合する。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

W107a High Mass X-ray Binary における恒星風と降着流の整合性

谷治健太郎, 政井邦昭, 山田真也 (首都大)

はくちょう座 X-1(Cyg X-1) は, 伴星である早期型超巨星の紫外領域の輻射圧によって加速した恒星風をブラックホールの重力によって捕捉し, そのガスのエネルギーの解放によって X 線帯域で輝く High Mass X-ray Binary (HMXB) である. Cyg X-1 には, ソフト状態とハード状態の 2 つの異なる状態が存在する. 前者では, 低エネルギー光子の多い, 光学的に厚い降着円盤が形成され, 後者では, 高エネルギー光子の多い, 光学的に薄い降着流が生じていると考えられている. このようなブラックホール付近からの X 線放射は恒星風の電離状態を変化させることが観測から示唆されている一方で, 状態遷移の原因や, 恒星風を捕捉し降着円盤を形成する過程などは未だに解明されていない.

HMXB の質量降着は恒星風捕捉 (wind-fed) であるため, 恒星風と降着円盤外縁の物理状態は整合的に議論されるべきである. そこで本研究では, Cyg X-1 連星系を想定し, ブラックホールからの軟 X 線放射の恒星風に対する光電離の影響を考慮した, wind-fed によるブラックホールへの降着を調べた. 具体的には, 流体計算を行い恒星風の密度・速度分布を求め, それらを用いて X 線によるヘリウムの光電離領域を見積もり, 恒星風の速度分布にフィードバックをかけた. その上で, 得られた密度と標準降着円盤の外縁の密度が同程度になるスケールを評価した. 講演では, 得られた結果についての議論および, LMC X-1 の場合との比較を行う.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

W108a ULS と ULX の統合モデル

小川拓未、嶺重慎 (京都大学)、川島朋尚、大須賀健 (国立天文台)

近年、超高光度 X 線源 (Ultra-Luminous X-ray source; ULX) と呼ばれる天体が数多く発見されている。この天体は恒星質量ブラックホール ($M_{\text{BH}} \sim 10 M_{\odot}$) のエディントン光度 ($L_{\text{E}} \sim 10^{39} \text{ erg s}^{-1}$) を超えるほどのエネルギーを X 線で放射しており、そのスペクトルは 10 keV 程度のコンプトン散乱を受けたような特殊な形になっている。一方で、超高光度軟 X 線源 (Ultra-Luminous Supersoft source; ULS) と呼ばれる天体が存在する。この天体もまた ULX と同様に非常に光度が高く、しかし一方でスペクトルが非常にソフト ($\lesssim 0.1 \text{ keV}$) であるという性質を持っている。

これら 2 つの天体に関して、「実はどちらも超臨界降着円盤を見ているもので、見込む角度が違うだけではないのか」という説がある (Gu et al. 2016)。そこで我々は 2 次元の輻射流体計算により、様々な降着率の超臨界降着円盤を計算し、この説を検証する事にした。輻射スペクトルを知るためにはアウトフローの構造を遠方領域まで正確に捉える必要があるため、今回のシミュレーションでは計算領域を $5000 r_{\text{S}}$ まで広げた。

結果としては、質量降着率が $\dot{M} \gtrsim 10^3 L_{\text{E}}/c^2$ のときには、円盤軸方向から見た時に $100 L_{\text{E}}$ ほどの光度を持った 1keV-10keV のコンプトン散乱を受けた輻射が観測される、つまり ULX として観測されることが分かった。その一方で円盤面に近い角度から見た時には光度が L_{E} 程度で 0.1keV を下回る黒体放射に近いスペクトルが期待される事が分かった。この結果は ULX と ULS がどちらも超臨界降着円盤を見ているもので、その違いは見込み角であるという説を支持する。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

W109a **ブラックホール連星 V404 Cyg の可視光から X 線の広帯域同時観測**

吉井健敏, 橘優太郎, 伊藤亮介, 谷津陽一, 斉藤嘉彦, 有元誠, 河合誠之 (東工大), 花山秀和 (国立天文台), 田中康之 (広島大学)

低質量 X 線連星 V404 Cyg は、現在知られている中で地球から最も近いブラックホールの連星系であり、ブラックホール周辺の物理現象の理解を目指す上で最も注目すべき天体の一つである。2015 年 6 月 15 日、26 年振りとなる X 線アウトバーストを X 線天文衛星 Swift 及び全天 X 線監視装置 MAXI が検出した。

Swift による X 線観測により、数分の時間尺度で 100 倍程度の劇的な光度変化を観測した。さらに本アウトバースト期間中に私たちが行った可視光観測との同時観測に少なくとも 3 度成功している。これによって可視光から X 線のスペクトル解析を数秒から数十秒の時間分解能で行うことができた。

本発表では、これらの解析によって得られた結果と V404 Cyg のアウトバースト中の放射及び変動プロセスについての議論を行う。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

W110a 可視偏光観測による X 線連星 V404 Cyg の星間吸収量推定

伊藤亮介 (東京工業大学)、川端弘治、田中康之、植村誠、中岡竜也、川端美穂、吉田道利 (広島大学)、他かなたチーム

X 線連星 V404 Cyg は 2015 年にアウトバーストを起こし、その電波放射からジェットが存在が示唆されている。しかし大きな X 線、可視光度変動が観測されたにも関わらず、可視光帯域での偏光度、偏光方位角の有意な時間変動は検出されず、検出された可視偏光が星間ダスト起源であることが示唆された (Tanaka et al. 2016)。その広帯域スペクトルからは降着円盤や光学的に厚い領域からのシンクロトロン放射などが示唆されているが (e.g., Kimura et al. 2016, Tanaka et al. 2016)、これら詳細な放射メカニズム推定において、正確な星間吸収量 $A(V)$ の見積もりは極めて重要な役割を果たす。しかし、その星間吸収の見積もりには不定性が多く (e.g., Casares et al. 1993, Shahbaz et al. 1994)、正しいスペクトル形状の決定に至っていないのが現状である。

我々は広島大学かなた望遠鏡 HONIR による可視近赤外線偏光観測、同望遠鏡 HOWPol による低分散分光観測により、V404 Cyg 周辺に位置する恒星の偏光度とスペクトル型を測定し、V404 Cyg 周辺の星間ガスにおける偏光度と色超過の関係性を調査した。その結果、偏光度と色超過量に相関関係があることを確認した。V404 Cyg から求められた星間偏光度 $PD=8\%$ から推定される同領域における色超過量は $E(B-V) = 1.3 \pm 0.2$ であった。また、可視近赤外線にわたる偏光スペクトルから、星間偏光のピーク波長に $\lambda_{\max} < 5500 \text{ \AA}$ という制限を与えた。これらの結果と経験則から、 $A(V)/E(B-V) < 3.1$ 、すなわち $A(V) < 4.0$ が示唆される。本講演では、偏光度測定を用いた星間吸収量の推定方法とともに、この領域における星間偏光の特異性について議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

W111a 相対論的球対称流の相対論的形式解と簡単な応用例

福江 純 (大阪教育大)

相対論的な流れにおける輻射輸送の問題は、モーメント定式化が不完全であり、相対論的な領域における性質もよくわかっていないことが多い。そこで、相対論的輻射輸送方程式に立ち戻り、相対論的領域の性質を調べている。先に、相対論的平行平板流における相対論的形式解の導出を行い、相対論的平行平板流の問題に適用した。今回、相対論的球対称流に対して、相対論的形式解の導出を試み、ローレンツ因子や4元速度の積分を含む形で、相対論的形式解が記述できることを導いた。

また、まず最初の段階として、ダイナミクスに関しては半径方向の速度場や密度分布を与えた相対論的球対称流における、定常で球対称な相対論的輻射輸送の問題を考えた。そして、いわゆるインパクト法の手法で、相対論的形式解を数値的に解き、輻射強度やモーメント量、エディントン因子などを求めることができる。

球対称な場合の相対論的形式解と、いくつかの具体的計算例を紹介する。たとえば、中心に球状光源があり散乱優勢な場合、流速が大きくなるにつれ、中央部の相対論的ピーキング効果と、周縁部の相対論的減光効果が強くなる。エディントン因子は、球対称輻射輸送なので遠方では1に近いが、中心光源の近傍では光行差による光線の回り込みによって、 $1/3$ より小さくなる場合もある。

つぎの段階としては、得られた輻射場のモーメント量を運動方程式に代入し、速度場を求めて、その速度場から輻射場をふたたび計算するという、二重の逐次近似で、最終的には輻射場と速度場を同時に解く必要がある。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

W112a ブラックホール球対称風における光子捕捉効果

折橋将司、福江純（大阪教育大学）

我々は、中心天体から定常的に吹いている光学的に厚い相対論的な球対称風（black hole wind）の観測的特徴を、電子散乱および自由自由吸収の波長依存性を考慮して、各振動数ごとの見かけの光球や熱化面を計算し、観測されるスペクトルを求めてきた。2015年までは熱化面で光子が生まれて、最終散乱面である光球面まで拡散されるとしていたが、アウトフローの速度が大きいと、光子が流れに捕捉・運搬され、熱化面より外側で光子が拡散される。今回、この光子捕捉効果を取り入れて放射半径やスペクトルを計算した結果を報告する。

計算方法は次の通りである。無限遠の観測者からみて、視線方向に測った全光学的厚み $\tau = -\int \gamma(1 - \beta \cos \theta) (\kappa_{\text{ff}}(\nu) + \kappa_{\text{es}}) \rho dz = 1$ となるところを見かけの光球とする。また見かけの光球から動径 (R) 方向に測った有効光学的厚み $\tau_* = -\int \gamma(1 - \beta) \sqrt{\kappa_{\text{ff}}(\nu) (\kappa_{\text{ff}}(\nu) + \kappa_{\text{es}})} \rho dR = 1$ となるところを熱化面 R_{th} と仮定する。そして熱化面で生まれた黒体放射光子が、散乱されて $\tau_* = 1$ の光球まで到達し、観測者へ飛来すると考えて、共動系での放射スペクトルや、ドップラー効果を考慮した観測されるスペクトルを算出した。ただし、 $v > c/\tau$ となる領域 ($R < \dot{m} r_g/2$) では光子捕捉効果を考慮し、 $R = \dot{m} r_g/2$ となるところを光子捕捉半径 R_{trap} と仮定し、そこから黒体放射光子が、散乱されるとして計算した。

光球面での光度をエディントン光度とすると、得られた放射スペクトルの光度も同程度になった。ただしスペクトルの形状は、質量や質量流出率などのパラメーターにもよるが、 $R_{\text{th}} > R_{\text{trap}}$ となる低振動数領域では単一温度の黒体輻射とは異なり、比較的幅が広いものとなったが、 $R_{\text{trap}} > R_{\text{th}}$ となる領域では単一温度の黒体放射と一致した。また、スペクトルのピークはよりソフト領域になった。得られた結果を ULX にも適用する予定である。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

W113a ブラックホール回転エネルギー引抜き の因果的機構 II

小出眞路 (熊本大学)

ブランドフォード・ナエク機構などの電磁場によるブラックホールの回転エネルギー引き抜き機構は活動銀河核、マイクロクエーサー、ガンマ線バーストのエネルギー供給機構のひとつとして注目されている。ここで、ブラックホール地平面では物質、エネルギー、情報はすべてブラックホールの外側から内側にしか移動・伝播できないという地平面での因果律があるので、ブラックホールのエネルギーを引き抜くために負のエネルギーをブラックホールに落とし込む必要があると思われる。その一般的な過程について、平成25年秋季年会において『ブラックホール回転エネルギー引抜き の因果的機構』と題し発表を行い、電磁エネルギー密度 e^∞ とエネルギー流束密度ベクトル \vec{S} の関係式 $\vec{S} = e^\infty(\vec{v}_F + \vec{\beta})$ を示した。ここで、 \vec{v}_F は電場 \vec{E} 、磁場 \vec{B} により $\vec{E} = -\vec{v}_F \times \vec{B}$ で与えられる速度の次元も持つベクトル量、 $\vec{\beta}$ は自転するブラックホールのまわりの空間の引きづり速度である。この関係式はブラックホール地平面において負の電磁氣的エネルギーがブラックホールに輸送されるものとしてブランドフォード・ナエク機構を因果的に理解できることを示している。しかし、この関係式はボイヤーリンクスト座標を用いて導かれており、座標系に依存する。今回カーシルト座標でこの関係式の再検討を行った。その結果、ボイヤーリンクスト座標における磁場の地平面の条件であるナエク条件に相当する条件はカーシルト座標では単に磁場のポロイダル成分 B^ϕ が連続という条件となり、ボイヤーリンクスト座標で得られた地平面での関係式 $\vec{S} = e^\infty(\vec{v}_F + \vec{\beta})$ が一般には成立たないことが分かった。すなわち、その関係式はボイヤーリンクスト座標のときたまたま成立つだけで、その関係式を用いた説明は根拠を失う。電磁場によるブラックホール回転エネルギーの引き抜き機構の因果律をどう理解すべきか解明する必要がある。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

W114a 超高輝度超新星を明るくするマグネターの楕円率への制限

守屋堯 (国立天文台), T. Tauris (ボン大学)

超高輝度超新星は他の超新星と比べて約10倍以上明るい新種の超新星である。超高輝度超新星を明るくするメカニズムとして、マグネターのスピンドアウンが主張されている。超新星爆発時に残される中性子星がマグネターとなり、約 10^{14} Gのダイポール磁場と数ミリ秒の回転を持つと、 10^{51} erg以上のエネルギーが約10日のタイムスケールで超新星エジェクタ中で双極子電磁放射として解放され、超新星を非常に明るくすることができる。しかし、爆発中に形成されるマグネターの楕円率が高すぎる場合、マグネターの回転エネルギーは電磁波ではなく重力波として解放されるため、超高輝度超新星を形成することができない。超高輝度超新星中のマグネターのスピンドアウンが重力波ではなく電磁双極子放射によって起こる必要があることから、超高輝度超新星を明るくするマグネターの楕円率への制限を行った。この結果、楕円率は典型的に 10^{-3} 以下である必要があることが分かった。マグネターの扁平がマグネター中のトロイダル磁場起源であるとする、トロイダル磁場は 10^{16} G以下である必要があり、超高輝度超新星を明るくするマグネターのポロイダル磁場とトロイダル磁場の比は0.01以上であることが分かった。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

W115a 強磁場中性子星マグネター定常放射のナノフレア加熱モデル

竹重聡史, 柴田一成 (京都大学), 鶴田幸子 (モンタナ州立大学)

近年の観測技術の発展から、一般的な中性子星 ($\sim 10^{11-12}$ G) よりも非常に強い磁場をもつ中性子星 ($\sim 10^{14-15}$ G) としてマグネターが発見されている。観測的な研究によって、このマグネターからの定常的な放射が示す有効温度 (~ 0.4 keV) は一般的な中性子星の表面温度 (~ 0.08 keV) よりも高いことが知られている。本研究ではこの表面温度の違いが磁場強度によるものであると考え、定常的な磁気エネルギーの解放による加熱で説明する理論モデルを構築した。まずマグネターにおける定常的な磁気エネルギーの解放過程として、本研究では太陽コロナにおけるナノフレアモデルを応用することを試みた。このモデルでは、太陽表面の磁気ループに表面での対流運動によってエネルギーを注入し、蓄えられた磁気エネルギーは磁気リコネクション過程と呼ばれる物理過程を通して、観測を説明出来るような短いタイムスケールでプラズマの運動・熱エネルギーへ変換される。太陽フレアの標準モデルでは、解放されたエネルギーが熱伝導によって大気下層に運ばれることで高温のフレアループが形成される。そこで本研究では、このモデルをマグネターに応用し、マグネターの表面(クラスト)でのシア運動によって注入されたエネルギーが閾値を越えると、磁気リコネクションによるエネルギー解放が起きると仮定した。次にこの閾値をパラメータとして、磁気リコネクションによるエネルギー輸送によって加熱されるプラズマからの放射で定常放射を説明する理論モデルの構築を試みた。過去の理論的な研究から、マグネターのフレアではエネルギー輸送過程として、電子による熱伝導よりも光子による放射が有効であることが示唆されている。本研究ではこれを考慮して加熱と冷却のバランスを考えることでモデルを構築し、ナノフレアの起こるタイムスケールやその頻度、また光度曲線の減衰するタイムスケールの物理量依存性を調べた。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

W116a コア磁場とクラスト磁場を考慮したマグネター磁場の減衰

藤澤幸太郎 (早稲田大学)

マグネターは強力な磁場を持っている中性子星の一種であると考えられている。その双極子磁場の強さは回転周期とその時間変化からみつもられ、典型的には星の表面で 10^{14}G から 10^{15}G 程度である。マグネターはこの強力な磁気エネルギーを解放することで放射する天体であると考えられており、その場合磁場は時間とともに減衰していくことになる。実際にマグネターの特性年齢と双極子磁場には一定の関係が見られ、特に SGR 0418+5729 などの双極子磁場の弱いマグネターは、磁場が減衰した老齢なマグネターであると考えられている。一方でマグネターの内部には、さらに強い内部磁場が存在していると考えられており、放射のエネルギー源として重要であると考えられている。そのため、マグネターの磁場減衰を議論するためには、双極子磁場だけではなく、内部の磁場を考慮する必要がある。

マグネターの磁場が内部の荷電粒子によって担われているとすると、磁場減衰メカニズムとしてはクラストでのオーム散逸やホール効果、コアでの両極性拡散などがあり、これらの物理過程によってマグネターは磁気エネルギーを解放していると考えられる。これらの物理過程では大局的な双極子磁場だけではなく、内部のトロイダル磁場やコア磁場が重要であるが、磁場減衰を現象論的に扱っているこれまでの研究 (Dall'Osso et al. 2012 など) では大局的な双極子磁場しか考慮されていなかった。そこで本講演では、マグネター磁場減衰の解明に向けて、コア磁場やクラスト磁場などの内部磁場と双極子磁場の相互作用に重点を置き、マグネター磁場のシンプルなモデルをいくつか考えてその進化を議論した。その結果、強い内部磁場の存在がマグネターの磁場減衰に重要であることがわかった。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

W117a MOA 望遠鏡を使った重力波フォローアップシステムの開発及び運用

朝倉悠一郎 (名古屋大学), MOA コラボレーション, J-GEM コラボレーション

2015年9月から2016年1月までの期間、2台の advanced LIGO が稼働する O1 が始まり初の重力波検出を果たした。MOA(Microlensing Observations in Astrophysics) グループではニュージーランド Mt. John 天文台にある口径 1.8m 視野 2.2deg^2 の広視野望遠鏡 MOA-II 及び口径 60cm 視野 30min^2 の3色同時撮影可能な B&C 望遠鏡を用いてフォローアップ観測を行った。重力波検出後に光学フォローアップ観測を行うことは、重力波天体の物理機構を解明する上でとても重要になる。しかし、重力波検出器から得られる重力波天体の位置決定精度は数百 deg^2 ととても悪く、光学望遠鏡で詳細な観測を行うためにはまず重力波天体を特定しなければならない。また電磁波放射の時間も限られているため早急のフォローアップが必要になる。そこで我々は、重力波検出後に発信される重力波アラートを受け取り即時にサーベイ観測を行い、重力波天体の同定を行うフォローアップシステムを開発した。O1 では位置誤差領域にある近傍銀河 ($\sim 100\text{Mpc}$) のサーベイ観測や MOA-II 望遠鏡による広視野サーベイ観測を行い、可視光カタログとの比較により対応天体の探索を行った。

本講演ではフォローアップシステムの概要と整備状況、及び O1 におけるフォローアップ観測の結果を報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

W118c **X 線衛星「すざく」と NuSTAR によるブラックホール X 線連星 H 1743–322 の同時観測**

志達めぐみ (理化学研究所), Magnus Axelsson (首都大学東京), 上田佳宏, 堀貴郁 (京都大学)

H 1743–322 は銀河中心方向に位置するブラックホール X 線連星であり、約 200 日毎にアウトバーストを繰り返している。我々は、2012 年のアウトバースト中に、10 keV 以上の硬 X 線成分が強い「low/hard 状態」にある H 1743–322 を、X 線衛星「すざく」で 3 度観測し、周波数 ≈ 0.2 Hz の準周期的振動 (QPO) を検出した (Shidatsu et al. 2014)。その振動数は、X 線光度の減少と、X 線光度に占める硬 X 線フラックスの割合の増加にともなって低下しており、降着流の構造と QPO の関連性が示唆された。

我々は、2014 年 10 月に起こったアウトバーストにおいて、すざくと NuSTAR を用いて H1743–322 を再び観測し、1–80 keV までを同時にカバーする高精度の X 線データを得た。その時間平均スペクトルは、2012 年のものとほとんど一致しており、円盤からの X 線放射を種光子とするコンプトン散乱モデルでよく表され、典型的な low/hard 状態の特徴が見られることがわかった。また、NuSTAR を用いることで、10 keV 以上の硬 X 線帯域で、この天体の low/hard 状態としては過去最高精度の光度曲線を得ることができた。そのパワースペクトルから、2012 年の観測同様に、周波数 ≈ 0.2 Hz の QPO を検出した。

本講演では、短時間変動の強度のエネルギー依存性から、降着流の構造と QPO の関連性について議論する。また、2012 年と 2014 年の結果を比較することで、異なるアウトバースト間の降着流の進化過程の類似性について考察する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

W119b Swift 衛星 XRT による X 線連星 GRS 1739–278 のブラックホール質量推定

須藤雅之 (理研/芝浦工大), 久保田あや (芝浦工大), 志達めぐみ, 三原建弘, 松岡勝 (理研), 河合誠之, 吉井健敏, 橘優太郎 (東工大), 王思力 (同済大/東工大)

GRS 1739–278 は、銀河中心付近に位置するブラックホール候補星であるが、ブラックホール質量は同定されていない。そこで我々は Swift/XRT のスペクトル (2014 年 3 月 20 日から 2015 年 8 月 30 日) を、降着円盤からの多温度黒体放射と、その光子を種とするコンプトン散乱モデルを用いて解析した。その結果、アウトバースト後、硬 X 線 flux が強い low/hard 状態から、標準円盤からの軟 X 線が支配的な high/soft 状態に遷移していることがわかった。high/soft 状態において、0.1 keV から 20 keV の X 線 flux が約 2.5×10^{-9} erg/s/cm² から約 2.5×10^{-10} erg/s/cm² まで一桁変化し、それに伴い内縁温度は約 1.2 keV から約 0.8 keV に変化したが、内縁半径は一定で、標準円盤が最小安定軌道まで安定して伸びていることがわかった。また、1996 年のアウトバーストでの RXTE/PCA のスペクトルを同様に解析したところ、high/soft 状態での内縁半径が Swift/XRT の結果とほぼ一致した。そこで、円盤の軌道傾斜角 $i=60^\circ$ (仮定) と距離 $D=7$ kpc (Greiner et al. 1996) を用いて、Swift/XRT で得られた円盤の内縁半径の平均値に、色温度と有効温度の補正と円盤の内縁での境界条件 (Kubota et al. 1998) を考慮し、真の内縁半径を求めたところ 27 ± 4 km となり、GRS 1739–278 のブラックホール質量を $3 \pm 0.5 M_\odot$ (回転していないブラックホールの場合) と見積もる事ができた。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

W120b MAXI/GSC の最大有効データ利用とBHCの光度曲線への応用

増満隆洋, 根来均 (日本大学) ほか MAXI チーム

国際宇宙ステーション (ISS) に搭載されている全天 X 線監視装置 MAXI は地球の周りを約 92 分で 1 周し、各天体を 1 日に約 16 回スキャン観測する。理研から一般公開されているオンデマンドデータ解析では、容易にその目標天体を解析できるようになっているが、目標天体 (検出器の視野に入っている時間は 40 秒から 200 秒程) だけでなくバックグラウンドを見積もるため、(デフォルトでは) 周辺領域のデータも含めて解析をしており、その領域の観測が中断されると、そのスキャンのデータは使用されない。そのため、検出器の保護等の理由で高電圧が切られている前後に起こった突発天体イベント等の処理はされない。また、ISS の歳差運動により観測される領域は少しずつずれていき、特に検出器の視野の端に天体が入ると、長期に渡ってデータの欠損が生じる。

そこで、解析する目的に応じて、目標天体が検出器の視野に入っている中で観測が途切れた天体データについても処理されるように解析手順を見直し、自動処理化を試みている。バックグラウンドはこれまでの目標天体とその周辺領域の単純な差分で見積もる方法ではなく、周辺領域を含めた画像フィットにより強度を見積もるようにし、また、スペクトル解析では有効な観測領域の面積の割合に応じて見積もる。例えば、本処理により、オンデマンドデータ解析では処理されるデータが全くなかった 2016 年 6 月 9 日の Cyg X-1 のデータについても、検出器端で受かっている半日以上のデータについて使える可能性が出てきた。今後、これらの観測データの強度やスペクトルが正しく得られるかの検証を行い、その結果と共に、本公演では MAXI がこれまでにアウトバーストを多く観測してきたブラックホール連星 H 1743-322 等の天体データを活用例として光度曲線解析や状態遷移について調査を行い、報告をする。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

W121b 「すざく」衛星による SS433 東側 X 線ローブの観測

内山秀樹, 神戸佑太 (静岡大学)

SS433 は可視分光観測により速度 $0.26 c$ のジェットを持つことが知られる X 線連星である。中心コンパクト天体は有力なブラックホール候補だと考えられ、マイクロクエーサーに分類されている。このジェットが、SS433 に付随する超新星残骸 W50 と相互作用し、赤経方向に東西数十 pc に渡るローブを形成していることを、電波観測、及び、ROSAT や「あすか」等の衛星による X 線観測は明らかにした。X 線スペクトルは主に非熱的なシンクロトロン放射によるものであり、 ~ 100 TeV まで加速された電子の存在を示唆する。この X 線ローブはジェットで加速された宇宙線が星間空間に放出される現場であると言える。

我々は、SS433 から東に約 35 分角 (~ 50 pc) 離れたローブの明るいノット状構造周りの領域を、「すざく」衛星で 100 ks 観測した。「すざく」XIS の低く安定した宇宙線バックグラウンドにより、硬 X 線帯域 (~ 10 keV) にわたるまで光子統計の良いスペクトルを得た。スペクトルは、非熱的成分と高温プラズマ成分に分離できた。非熱的成分は従来報告されていた単純なべき関数では説明できず、 ~ 7 keV 付近に cutoff を必要とすることを、我々は初めて明らかにした。更に SS433 から離れるにつれ、cutoff のエネルギーが小さくなっていた。これは SS433 付近で衝撃波加速された電子が、シンクロトン冷却しながら移動する過程を見ていると考えられる。ここからローブ周辺の星間磁場 B に対し $\sim 80 \mu\text{G}$ 以下という制限を得た。 $B = 10 \mu\text{G}$ を仮定すると 9 pc の距離を ~ 700 年 (仮に並進運動だとすると $v \sim 0.04 c$) で高エネルギー電子が移動していることになる。一方で、高温プラズマ成分の非熱的成分に対する強度比は、ノット状構造を境に SS433 から離れるにつれ大きくなる傾向が見られた。

本講演では銀河リッジ X 線放射バックグラウンドによる不定性などを含め、観測・解析の詳細を報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

W122b TeV ガンマ線連星 HESS J0632+057 と 1FGL J1018.6–5856 における近赤外線放射の軌道依存性

千榊翔, 吉田裕美, 河内明子 (東海大学), 森谷友由希 (Kavli IPMU), 岡崎敦男 (北海学園大学)

超高エネルギーガンマ線を放射する天体は数多く見つかっているが、そのうち連星系 (TeV ガンマ線連星系) は 5 天体のみであり、いずれも大質量星 ($\sim 8M_{\odot}$ 以上の O/Be 型星) とコンパクト天体から成っている。これらの天体ではコンパクト天体から流出する相対論的速度を持つ荷電粒子と、大質量星周囲の物質 (恒星風及び Be 星の場合は星周ガス円盤) との相互作用により高エネルギー放射が起きていると考えられている。恒星とコンパクト天体から成る系は多数あるが、どのような条件が超高エネルギーガンマ線放射を起こすかは解明されていない。

我々は、これらガンマ線連星の内の 4 天体について、南アフリカ天文台にある IRSF1.4m 望遠鏡の SIRIUS カメラを用いて JHKs バンドの 3 色同時観測を行ってきた。2015 年には、軌道周期に大きな不定性のある HESS J0632+057 (Be 型星 MWC148 と正体不明のコンパクト天体から成る。軌道周期 ~ 320 日、離心率 0.83) について、近赤外線の増光から近星点を捉えることを目指して 1 か月間の連続測光観測を行った。その結果、0.02 等級程度の光度変化の兆候が得られた。これが近星点通過に付随するものであれば、軌道周期は 320 日より短いことが示唆される。また同時期に、軌道離心率が小さいとされる 1FGL J1018.6–5856 (O 型星と正体不明のコンパクト天体から成る。軌道周期 16.58 日) について近赤外線では初となる、約 2 周期分を密にカバーするモニタリング観測を行った。

本講演では HESS J032+057 と 1FGL J1018.6-5856 の観測結果を中心に紹介するとともに、軌道パラメーターや大質量星の種類による比較も交えながら、TeV ガンマ線連星系を近赤外線帯域で観測することで得られる連星系の性質について考察する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

W123b Ghosh & Lamb の式と Be 型 X 線連星パルサー X Per の中性子星の磁場

高木利紘 (理研/日大), 三原建弘, 中村俊哉, 谷田部史堯, 牧島一夫 (理研), 他 MAXI チーム

我々は Ghosh & Lamb (1979) で導かれている天体の光度 L_X と中性子星のパルス周期の変化率 \dot{P} の関係式 (GL 式) を 4U 1626-67 に適用し、中性子星の質量と半径の推定を行った (Takagi et al. 2016)。GL 式のパラメータは、中性子星の質量 M 、半径 R 、磁場強度 B 、パルス周期 P である。 L_X と P 、 \dot{P} 、 B を観測で決めれば M と R が推定でき、特に R に対して感度が良い。4U 1626-67 では、 B はサイクロトロン共鳴により正確に求められているが、距離に大きな誤差を含んでいるので、距離を仮定して M と R の推定を行った。次にこの方法を適用する天体として、4U 1626-67 と同様にパルス周期が短くなる Spin-up 期と長くなる Spin-down 期を示している Be 型 X 線連星パルサー X Per を選んだ。X Per は 837 秒のパルス周期を持ち、低光度 ($\sim 10^{35}$ erg s $^{-1}$) で定常的に輝く天体で、4U 1626-67 とは逆に、距離はある程度正確に求められているが、 B はよくわかっていない。X 線のエネルギースペクトルの 30 keV 付近にへこみ構造が見られ、それをサイクロトロン共鳴によるものだと考えると磁場強度は $B = 2.6 \times 10^{12}$ G となる (Coburn et al. 2001)。しかし、一般的な X 線連星パルサーに比べてエネルギースペクトルがより高エネルギーまで延びるので、磁場強度はもっと強いのではないかとの示唆もある。そこで我々は全天 X 線監視装置 MAXI を用いて X Per の L_X と P 、 \dot{P} を求めて GL 式を適用し、X Per の磁場の推定を試みた。ここでは 3 つの磁場強度 $B = 2.6 \times 10^{12}$, 1.0×10^{13} , 1.0×10^{14} G の中から観測データにもっともよく合う値を探した。 M と R の範囲を $M = 1.0 - 2.4 M_\odot$ 、 $R = 8.5 - 15.5$ km とすると、 $B = 1.0 \times 10^{14}$ G を用いた時が一番よく観測データに合致した。これより、X Per の磁場強度は一般的な X 線連星パルサーよりも強い可能性があることがわかった。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

W124b マグネター磁気圏における X 線放射の偏光

矢田部彰宏, 山田章一 (早稲田大学)

マグネターの定常放射は主に X 線のエネルギー領域にあり、そのスペクトルは黒体輻射による熱的成分とシンクロトロン放射などが原因とされる非熱的成分によって構成されていることが知られている。そのうち熱的成分はマグネター表面近くに存在する大気から放射されていて、マグネター表面の温度や大気の組成を反映していると考えられる。そのため、熱的成分の観測結果と理論的な予想を比較することによってマグネター本体の情報が得られると考えられる。マグネターの観測で得られる情報の中で、近い将来観測され、重要であると考えられている観測量は放射における偏光である。

マグネター表面で発生した放射はマグネターの大気を通過するため、大気によって強度が減衰する。マグネターの大気における強度の減衰に寄与する素過程に光子の電子による散乱がある。マグネターを含む中性子星のような強い磁場のもとでは、散乱断面積が光子の偏光によって異なり、2つのある偏光モードのうちの1つだけに対して散乱断面積が減少する。そのため、大気を通過した光子には片方の散乱されにくい偏光モードをもつものが多く、放射は偏光していると考えられている。さらに、大気の外側に存在する磁気圏を通過するときに関しても、光子の偏光は磁場の向きや磁気圏のプラズマによって変化すると考えられている。本研究では特に磁気圏における放射の偏光面や固有モードなど、偏光の情報を持つ量を扱う。その結果、磁気圏での磁場の構造が観測される偏光に対して重要であることがわかった。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

W125b パルサー磁気圏からのシンクロトロン放射

木坂将大 (青山学院大学), 田中周太 (甲南大学)

パルサー磁気圏からの非熱的 X 線、可視光放射は、一般に磁気圏での電磁カスケードの結果として生成した粒子からのシンクロトロン放射であると考えられている。よって、これらの放射は磁気圏でどの程度の電磁場のエネルギーが粒子のエネルギーに変換されているかの情報を持つ。

本研究では、1 次粒子のエネルギーフラックスはスピンドウン光度を越えない、ピッチ角は粒子が生成した際に決まる、光円柱半径では双極磁場成分が支配的であるという 3 点の仮定のもとでモデル化を行い、パルサー磁気圏からのシンクロトロン放射の光度の理論的上限值を得た。

結果から、パルサーから検出されている非熱的 X 線、可視光の光度の観測値は、シンクロトロン放射のそれぞれの波長帯での光度の理論的上限に対応していることがわかった。ガンマ線パルサーに対応するスピンドウン光度 $\sim 10^{34} \text{ erg s}^{-1}$ 以上の天体では、光子衝突で生成する粒子からのシンクロトロン放射で観測される光度が説明が可能である。光度が最大となるのは光円柱近傍で、この領域で大部分のエネルギーが粒子に変換されていると考えられる。一方でスピンドウン光度の小さい天体では、星表面近傍の磁場を介した電磁カスケードで生成した粒子からの放射でしか観測を説明できない。この場合は、表面近傍ですでに粒子へ十分なエネルギーが変換されていることが要求される。磁場の多重極成分の効果も最大限考慮した場合のスピンドウン光度に対するシンクロトロン放射光度の比の上限値は、 $\sim 0.04(h\nu/1\text{keV})$ と得られた。これを越える場合は、粒子生成時以外に大きなピッチ角を与える機構、シンクロトロン放射以外の放射機構、もしくは回転エネルギー以外のエネルギー源が要求されることを意味する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

W126b ボルツマン方程式を用いた一般相対論的輻射輸送計算コードの開発

牧野芳弘 (京都大学)

ブラックホール周囲の降着円盤は、超高速ジェットや強力な電磁波放射など、高エネルギー現象の起源と考えられている。また、降着円盤からの光子や物質のエネルギーと運動量の放出は、周囲の星間ガスに影響を与えるため、星や銀河の進化にとっても重大な影響である。しかしながら、光子や物質の放出メカニズムは、未だよく分かっていない。

円盤表面からのガス噴出や円盤内部の乱流など、多次元効果が重要であると共に、輻射場や磁場とガスの相互作用が問題の本質に関わることが示されてきたため、多次元の輻射磁気流体計算が行われるようになってきた。特に、一般相対論を組み込んだ輻射磁気流体計算は、最先端の研究課題であり、近年になってようやく実現可能となった。ただし、そこではM1 closure法と呼ばれる近似法を用いて輻射モーメント式を解いている。M1 closure法は、光学的に厚い極限で正しいが、薄い状況や、光学的厚みが1程度の場合に不正確な輻射場を示す場合がある。円盤の冷却や、円盤表面からのガス噴出を正しく調べるには、光学的厚みが1かそれ以下の領域での輻射輸送を正しく解かねばならない。よって、輻射輸送方程式を直接解く、より厳密な輻射輸送計算が必要であり、本研究では、ボルツマン方程式を用いて、近似なしに一般相対論的輻射輸送方程式を解くコードの開発をしている。

ここで開発するコードは、流体計算と結合させて、より厳密な一般相対論的輻射磁気流体計算コードへと発展させることを見据えているが、まずはポストプロセスで輻射スペクトルを計算する予定である。今回の発表では、コードの開発状況と今後の展望について解説する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

W127c 2SC カラー超伝導を考慮した高密度星の冷却

野田常雄 (久留米工業大学), 安武伸俊 (千葉工業大学), 橋本正章, 松尾康秀 (九州大学), 丸山敏毅 (原子力機構), 巽敏隆 (京都大学), 藤本正行 (北海学園大学)

中性子星のような高密度星の内部は、QCD 相図上の低温高密度領域に位置し、クォークの閉じ込めが解けたクォーク物質や核子の超流動状態への遷移といった興味深い現象や状態の舞台となっていると考えられている。しかし、それらの状態の検証は地上実験では難しく、中性子星の最初の発見から半世紀近くたった現在でも未解決である。高密度星はその内部の熱をニュートリノ放射によって熱的に進化するが、そのニュートリノ放射に高密度物質の状態が顕著に影響することが知られている。観測結果と熱的進化計算を比較することで、星内部の状態に制限を与えることが可能となる。

ハドロン衝突実験においては、クォークの閉じ込めが解けるとクォーク・グルーオン・プラズマの状態になることが確認されている。しかし、高密度星内部の状態と比較すると非常に高温な状態であり、そのまま星の内部状態と考えることはできない。低温のクォーク相においては、クォークがペアを作りボーズ凝縮するカラー超伝導状態が考えられているが、クォークのカラーとフレーバーの自由度のため、複数のペアリング状態が考えられている。

本研究では、2SC カラー超伝導状態にあるクォーク物質を考慮した高密度星のモデルを構築し、熱的進化のシミュレーションを行った。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

W128a 国際宇宙ステーション搭載予定 NICER ミッションの進捗とサイエンス

榎戸輝揚 (京大), Zaven Arzoumanian, Keith C. Gendreau, 岡島崇 (NASA/GSFC) ほか NICER チーム, 小嶋康史 (広大), 寺澤敏夫 (理研) ほか地上電波観測チーム

中性子星の質量と半径の精密測定から、内部の高密度な状態方程式に迫る NASA の Neutron star Interior Composition ExploreR (NICER) ミッションは、フライト品の製作も完了し、今年度中に国際宇宙ステーションに搭載予定である。独立な 56 個の X 線集光系とその焦点面のシリコンドリフト検出器で構成され、中性子星の表面放射のフラックスが卓越する 1.5 keV 付近において XMM-Newton 衛星の 2 倍以上の有効面積と ~ 200 ns の高時間分解能を実現する (Arzoumanian et al., 2014, SPIE)。本発表では、NICER の打ち上げにむけた進捗を紹介し、重点観測の目標に加えて初期フェーズに向けて検討しているトピックを紹介する。1) Sco X-1 のような弱磁場の中性子星は質量降着でスピナップするが、twin kHz QPO から推定される自転周波数は、遠心力で破壊される限界まで至っていない。これは重力波が角運動量を持ち逃げしているからとも考えられており、定常重力波の探査に用いられている。高レートに耐える NICER による Sco X-1 の QPO 観測は、重力波探査との連携で魅力的な候補である。2) 電波域で見つかった短時間のバースト現象 fast radio burst (FRB) の有力な解釈の一つは、遠方の若い中性子星での Giant Radio Pulse (GRP) である。かにパルサーは GRP を起こすことが知られているが、その性質はまだよくわかっていない。GRP に同期した可視光超過は見つかったものの (Strader et al., 2013)、X 線域では上限値が得られているだけのため (Bilous et al., 2012; Mikami et al., 2016)、NICER による電波との同時観測を狙っている。3) トランジェントなマグネターは、減光後に回転駆動型の強磁場パルサーとして振る舞うのかはよくわかっていない。NICER による暗いマグネター観測が進展することが期待できる。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

W129a 「すざく」衛星による低質量 X 線連星 Sco X-1 の硬 X 線放射の観測 (2)

岡田千穂, 高橋弘充, 中岡竜也, 北口貴雄, 深沢泰司 (広島大学), 堂谷忠靖, 前田良知, 勝田哲 (中央大学), 森英之 (UMBC), 村上弘志 (東北学院大), 湯浅孝行 (理研)

中性子星のエディントン限界光度 10^{38} erg/s に近い低質量 X 線連星は、Z 天体と呼ばれている。Z 天体は、カラーカラー図の上で Horizontal branch (HB)、Normal branch (NB)、Flaring branch (FB) と呼ばれる 3 つの状態を遷移することが知られており、BoppoSAX、RXTE、INTEGRAL 衛星により 50 keV 以上で熱的放射を卓越するハードテールの検出が報告されている。また、観測衛星や時期、天体によってハードテールが観測されたりされなかったりしており、ハードテールの起源についてはよく分かっていない。この現象を明らかにすることで、中性子星や降着円盤の内縁付近の物理描像を明らかにすることにつながると思っている。

Sco X-1 は X 線で全天一明るい Z 天体であるため、状態遷移に伴うハードテールの時間変動を調べるのに適している。そのため我々は「すざく」衛星に Sco X-1 の観測を提案し、2015 年 3 月 9-12 日に実施した。前回の年会では、PIN 検出器と GSO 検出器によって得られた全時間平均の 15-100 keV のスペクトル解析した。バックグラウンドを注意深く差し引くことで、中性子星表面からの黒体放射が熱的プラズマで逆コンプトン散乱されているモデルでは、50 keV 以下しか再現できないことが分かった。50 keV 以上にはハードテールが存在している可能性が高く、そのフラックスは 20-200 keV で $(2-6) \times 10^{-10}$ erg/cm²/s であった。本講演では、Sco X-1 の状態遷移に着目し、その中でハードテールが変動しているのかを調べた。そのため、XIS 検出器と PIN 検出器を用いてカラーカラー図を作成したところ、今回の「すざく」の観測時間帯でも、Z 天体にみられる HB、NB、FB の 3 つの状態を遷移していることを確認した。各状態とハードテールの強度の関係について報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

W130a 「すざく」を用いた LMXB のスペクトル状態遷移の研究

小野光 (東大理)、牧島一夫 (理研)、ZhangZhongli (上海天文台)、中澤知洋 (東大理)

弱磁場の中性子星と低質量星の連星系すなわち LMXB には、光度が $> 10^{36-37} \text{ erg s}^{-1}$ でスペクトルの $\sim 10 \text{ keV}$ 以下が卓越するソフト状態と、光度が $< 10^{36-37} \text{ erg s}^{-1}$ で放射が $\sim 100 \text{ keV}$ まで延びるハード状態がある。どちらのスペクトルも、降着円盤からの多温度黒体放射と、中性子星表面から出る黒体放射の逆コンプトン散乱 (IC) で再現され、ハード状態では IC が有意に強まる。しかしこれらをつなぐ状態遷移は $\sim 10 \text{ ks}$ と短く、広帯域観測はこれまでほとんどなかった。幸運なことに、「すざく」が transient LMXB である Aquila X-1 のハード状態からソフト状態への遷移を捉えたため、我々は上述のモデルを適用し、パラメータの値やその変化を調べた。

観測は 2011 年 10 月 21 日、アウトバーストで増光している時に約 80 ks にわたって行われた。観測を通じ、XIS の 0.8–10 keV 強度は単調に増加、HXD-PIN の 15–60 keV 強度は単調に減少し、結果として観測中盤の $\sim 20 \text{ ks}$ でスペクトルは急激に軟化した。全データをほぼ同じ時間間隔で 10 分割し、10 個のスペクトル P0–P9 を作ったところ、P0–P4 はハード状態に典型的なカットオフのあるベキ型スペクトル、P4–P8 にかけて連続的にカットオフが低エネルギー側に移動し、P8 と P9 では典型的なソフト状態のスペクトルとなった。

P0–P9 を多温度黒体放射と黒体放射の IC でフィットしたところ、いずれもよく再現され、P4–P8 でパラメータが連続的かつ大きく変化した。すなわち電子温度は 10 keV から 3 keV に低下、IC の強さを示す y パラメータは 0.3 から 0.1 に減少し、円盤の内縁半径は 20 km から 10 km へと減少した。こうして従来から知られていたハード状態のパラメータが、 $\sim 20 \text{ ksec}$ でソフト状態のパラメータに連続的につながることがわかった。この間に円盤の光度は、全光度の 20% から約 50% まで増加し、ピリアル定理を満たすことも確認された。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

W131a **MAXI/GSC と Swift/BAT による LMXB の Z ソースのコンプトン成分 II**

浅井和美、三原建弘、松岡勝、杉崎睦 (理研) ほか MAXI チーム

中性子星の低質量 X 線連星 (LMXB) で、定常的に高光度 (Eddington 光度程度) で輝く天体は 6 個あり「Z ソース」と呼ばれる。さらにそれは、Cyg X-2 like (3 個) と Sco X-1 like (3 個) に分けられるが、その違いの原因は、中性子星の磁場や連星軌道傾斜角と考えられてきた。ところが、2006 年に増光した XTE J1701-462 は、X 線光度の減少に伴って Cyg-like から Sco-like に変化したことから、質量降着率が主原因と考えられるようになった。しかし、そもそも両タイプの分類根拠となっているスペクトル・時間変動の特徴 (3 つのブランチ: Horizontal、Normal、Flaring) の理由はまだ説明できていない。前回の天文学会では、6 個の Z ソースの MAXI/GSC (2-10keV) と Swift/BAT (15-50keV) による光度曲線を解析し、HB では、降着円盤の内縁はアルフベン半径で決まり、その大きさは Cyg-like の方が大きく、中性子星の磁場が強いという可能性を示した。今回は、HB と NB の交点に注目し、両者のコンプトン成分の変化を説明できるシナリオを提案する。HB では、質量降着率が増加するにつれ、アルフベン半径で決まる内縁半径は小さくなり、同時に、密度が増え放射冷却によりコンプトン雲の電子温度が下がり、コンプトン成分は小さくなっていく。降着円盤内部の輻射圧は増大していき、ついには、アウトフローが起きるようになる (Katz 1980)。この点が、HB と NB の交点である。一方、この交点を過ぎると、質量降着率が増加してもアウトフローに費され、円盤内縁での質量降着率で決まっているアルフベン半径は変わらず内縁半径は一定となる。しかし、アウトフローの増加で散乱が増え、見かけの X 線光度は減少していく。これが NB である。MAXI/GSC と Swift/BAT のデータで、ブランチの変化がはっきりと見える GX5-1 (Cyg-like) と GX17+2 (Sco-like) を解析し、このシナリオを検証する。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

W132a Be型X線連星パルサー GX304-1のX線アウトバーストの観測

中島基樹(日本大学)、三原建弘、杉崎睦、高木利紘(理研)、他 MAXI チーム

Be星と強磁場中性子星の連星であるBe型X線連星パルサー GX 304-1は1967年の気球実験による発見以降、約10年にわたりX線活動が観測されていた。その後、約28年におよぶ休止期間を経て、2008年から再びX線活動が観測され、現在(2016年6月)まで軌道周期132日に同期したX線アウトバーストが観測されている。現在続いているX線活動では、2008年10月以降の計22回の近星点通過すべてにおいて、様々な特徴を持ったアウトバーストが観測されている。これほど多様なアウトバーストが観測されている例はGX 304-1以外にもなく、質量降着機構やBe星の星周円盤(Be disk)のプロファイルを調べるには最適な天体である。本研究では、MAXIとSwiftにより観測されたアウトバーストの光度曲線を定量的に評価するため、burst model(線形増光、指数関数的減光を表すモデル)を用いて各種パラメタを求めた。2010年8月より軌道周期に同期した連続ジャイアントアウトバーストが観測され、2012年1月以降はジャイアントアウトバーストの継続時間が徐々に長くなっていることが判明した。アウトバーストの開始軌道位相の時間変化をBe diskの拡がりによるものと解釈すると、そのradial velocityは $\sim 2\text{km/s}$ と求めた。これは光学観測により求められた他のBe星のものよりも一桁大きな値である。また、アウトバーストのスタート/ピーク位相が徐々にずれていく現象が2014年8月以降観測された(Atel#8592)。これはGS 0834-430(Wilson et al. 1997)、EXO 2030+375(Wilson et al. 2002)、A 0535+26(Nakajima et al. 2014)に続く4例目の観測結果となることから、このようなアウトバーストの軌道位相のずれはBe型X線連星パルサーでは一般的な現象であることが示唆される。今回の解析より得られたアウトバーストの軌道位相のずれの変化率を他の天体と比較すると、連星軌道の離心率に依存している可能性があることが分かった。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

W133a **Possible regular phenomena in EXO 2030+375**

Eva Laplace (University of Tübingen; RIKEN), Tatehiro Mihara, Toshihiro Takagi, Kazuo Makishima (RIKEN), Yuki Moritani (Kavli IPMU; Hiroshima University), Motoki Nakajima (Nihon University), Andrea Santangelo (University of Tübingen)

The X-ray source EXO 2030+375 (spin period: 42 s; orbital period: 46.021 d) is known for being the Be X-ray binary system showing the largest number of recurring low-luminosity X-ray outbursts (type I) every orbital period. Recently, however, its behaviour started to change: the X-ray flux decreased significantly and some expected type I outbursts were not detected, while the spin frequency reached a plateau (Fuerst et al. 2016). In addition, the equivalent width of the H α line reached an unprecedented high value (Steele 2016). We report a striking similarity with events which occurred 20 years ago, just before the source showed a sudden shift of the orbital phase of the outburst peak (orbital phase jump) in 1995 (Wilson et al. 2002). Moreover, we investigate the relation between these events and the long high-luminosity outbursts (type II), which were observed in 1985 (Parmar et al. 1985) and 2006 (Corbet & Levine 2006). The existence of an underlying periodicity between an orbital phase jump and/or type II outbursts is considered. We discuss possible models explaining the observed changes. If our view is correct, we should experience another orbital phase jump in December 2016/January 2017.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

W134a **MAXI/GSC と Fermi/GBM による Be/X 線連星パルサーの連続監視データを用いた降着トルクによる中性子星スピンの定量的検証**

杉崎睦、三原建弘、牧島一夫 (理研)、中嶋基樹 (日大)

Be/X 線連星パルサーは、星周円盤を持つ Be 星と強磁場の中性子星から成る連星系である。中性子星が近星点付近で Be 星の星周円盤を通過する時に質量降着率が増大し、数日から時には数ヶ月に渡る X 線アウトバーストを引き起こす。このとき、降着物質は中性子星に角運動量を持ち込むので、中性子星はスピンアップする。X 線光度とスピン周期変化率の相関は、降着の幾何学的構造を反映し、定量的には中性子星の物理パラメータと関係するため、非常に重要になる。我々は、2009 年より国際宇宙ステーションで連続観測運用を行っている MAXI/GSC の全天モニターデータと、2008 年から行われている Fermi/GBM パルサープロジェクトによるパルス周期データを用いて、系統的な X 線連星パルサーの光度周期変化の解析研究を行ってきた。これまでに、Be X 線連星パルサー GX 304-1 の 2009-2013 年のアウトバースト活動期と低質量連星 X 線パルサー 4U 1626-67 の長期変化に関して、Ghosh & Lamb 1979 (GL79) による降着円盤を介した質量降着モデルで辻褃が合うことを示した (Sugizaki+2015, Takagi+2016)。また、2014 年秋季天文学会で、先行的に 5 つの Be/X 線連星パルサーで、アウトバースト光度の積算値とスピン周期変化率が GL79 モデルと係数 3 倍程度の範囲で一致することを報告している。本講演では、過去 7 年間にアウトバーストを起こし、Be 星の可視光観測から距離が推定されており、X 線スペクトルのサイクロトロン共鳴散乱構造から表面磁場が精度良く見積もられている厳選した Be/X 線連星パルサー 12 天体を用いて行った、定量的な光度周期変化関係モデルの検証結果を報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

W135a **MAXI が検出した 2016 年度前半の突発現象と MAXI J0911-655 と
MAXI J0758-456 の発見とその正体**

根來 均, 中島基樹, 田中一輝, 増満隆洋 (日本大学), 芹野素子, 三原建弘, 松岡 勝 (理研), 中平聡志 (JAXA), 河合 誠之 (東工大) ほか MAXI チーム

全天X線監視装置 MAXI が 2016 年度前半に検出した突発現象等について報告する。前回の春季天文学会以降、6 月 13 日までに突発天体発見システムが検出した X 線領域での増光現象のうち 7 件と 1 件のガンマ線バーストらしき現象をそれぞれ、The Astronomer's Telegram (ATel) と Gamma-ray Coordinates Network (GCN) に速報した。MAXI J0911-655/Swift J0911.9-6452 は、2 月 19 日に突発天体発見システムにより 1 日の検出限界程度の明るさ (10–15 mCrab) で検出され、Swift の BAT 検出器でも 2 月 29 日に検出された。その後、その存在が確からしいことが両観測から確認され、3 月 26 日に MAXI, Swift チーム合同で ATel に報告した (ATel #8872)。そして、Swift XRT (#8884), Chandra (#8971) の追観測により球状星団 NGC 2808 内の天体であることがわかった。また、4 月 24 日には、ソフトなスペクトルを持った突発天体 MAXI J0758-456 (#8983, #8993) が 1 スキャンのみで検出された。Swift XRT の追観測では、MAXI の誤差領域の端で激変星 1RXS J080114.6-462324 がこれまでの観測より 2-5 倍程明るい状態で観測された (#8988)。これら以外に、Be パルサー A0535+26 (#8977), GX 304-1 (#9064)、中性子星連星系 XTE J1709-267 (#9108) のアウトバースト、RS CVn 型星 VY Ari (#9044), HR 5110 (#9144) のフレアを ATel に報告している。講演では、これら 2 つの突発天体の発見と追観測により検出された (既知) 天体との関係を中心に、これらの突発現象について報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

W136a 強磁場中性子星極冠への超臨界降着柱の輻射流体シミュレーション: ULX パルサーへの応用

川島朋尚 (国立天文台), 嶺重慎 (京都大学), 大須賀健 (国立天文台/総研大), 小川拓末 (京都大学)

近年、超高光度 X 線源 (以下、ULX) M82 X-2 から周期 1.37 秒の X 線パルスが検出され、ULX パルサーの存在が明らかとなった (Bachetti et al. 2014)。パルス放射を示すことから、M82 X-2 では銀河系内のパルサーと同様に、磁軸に沿った中性子星極冠への降着が起きていると考えられる。また、M82 X-2 で見積もられた光度 ($10^{40} \text{ erg}\cdot\text{s}^{-1}$) は中性子星のエディントン光度を大きく超えているため、中性子星極冠への超臨界降着が起きていると考えられる。しかし、中性子星極冠への継続的な超臨界降着は可能なのか、可能な場合には降着柱はどのように光るのか、弱磁場中性子星やブラックホールへの降着との違いは何なのか、よくわかっていない。

これらの問題にアプローチするために、我々は中性子星極冠への超臨界降着柱の輻射流体シミュレーションを実施している。ULX パルサーでは 10^{12} G 以上の強磁場が見積もられており (Bachetti et al. 2014)、流体の運動は磁力線に沿った動径方向に起こると考えられる。そこで今回我々は、軸対称 2 次元空間で輻射輸送は 2 次元方向に解きつつ流体運動を 1 次元方向 (磁力線に沿った動径方向) に限定し、強磁場中性子星極冠への超臨界降着柱を調べた。その結果、降着柱内部での θ 方向の流体運動がある場合 (2016 年春季年会) に比べて、降着率は約半分程度となり降着柱側面の光度が約一桁減少した。この放射効率減少は、降着柱の内側で発生した光子が移流によって降着柱側面方向へと輸送されないことが原因と考えられる。本発表では、本モデルの詳細なメカニズム、および M82 X-2 の推定光度を実現するのに必要な降着率について報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

W137a 2次元輻射流体計算から迫る、宇宙初期の超大質量ブラックホールの起源

竹尾英俊, 嶺重慎 (京都大学), 大須賀健, 高橋博之 (国立天文台), 稲吉恒平 (コロンビア大学)

宇宙初期 (赤方偏移 $z \sim 6-7$ 、宇宙年齢 $\sim 1\text{Gyr}$) において、超巨大ブラックホール ($> 10^9 M_\odot$) が観測されているが、その形成過程は不明である。一説として、宇宙初期 ($z \sim 20$ 、宇宙年齢 $\sim 0.2\text{Gyr}$) にできた初代星由来のブラックホール ($\sim 10^{1-3} M_\odot$) が、ガス降着で急成長したとするものがある。この説に従うと、エディントン限界を上回る、超臨界降着による成長が不可避である。なぜなら、このブラックホールがエディントン限界で降着し続けても、観測された時期までに、 $> 10^9 M_\odot$ へと成長できないためだ。しかし、球対称的な輻射場を仮定する限り、超臨界降着は困難である。降着に伴って、中心部から輻射が生じ、ガスを電離加熱する。ガスは高温・高圧になり、ガスを押し返し、降着が抑制されるためだ。

そこで、2次元 (非球対称) 効果を考慮すれば、超臨界降着が可能かもしれない。我々は特に、中心部からの輻射が、降着円盤由来で非等方性を有する (回転軸方向に強く、赤道面方向に弱い) 点に着目した。我々は、原始ガス (水素・ヘリウム) 内での電離・再結合を考慮した、2次元輻射流体計算 (HLL法) を行った。なお、輻射により周囲のガスを温める効果を取り入れた。結果、非等方な輻射によって、2次元的なガスの運動が生じることがわかった。回転軸付近で、アウトフローが発生する一方、それ以外の部分のガスは、赤道面に集まり、赤道面付近でインフローが増大する。ただし、アウトフローとインフローの双方が促進されるため、この2次元的なガスの振る舞いが、超臨界をもたらすか否かは、今後の課題である。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

W138a 電波パルサーの X 線光度を決定する要因について

柴田晋平, 渡邊瑛里 (山形大学), 谷津陽一 (東京工業大), 榎戸輝揚 (京都大学), 馬場彩 (東京大学)

電波パルサー (PSR) は強い磁場をもって高速に自転する中性子星であり、その回転エネルギーによって輝いている (回転パワーを L_{rot} とする)。PSR の磁気圏では荷電粒子が加速され、放射はパルスとして観測されるが、さらに磁気圏プラズマは加速され、パルサー風としてまわりの空間に流れ出る。パルサー風の終端衝撃波では粒子が再び加速され、パルサー星雲 (PWN) を形成する。PSR 磁気圏も PWN も電波からガンマ線にいたるまでの広い帯域で輝く。それぞれにおける粒子加速機構はまだ基本的なプロセスすら特定できない状態である。

PSR からの X 線光度 L_x と L_{rot} の相関について検討した。その結果、モデル相関関係 $L_x = 10^{-4.75} L_{\text{rot}}^{1.03}$ があることが示されたが、加えて、分散の分析も行った (2015 年秋の年会)。

本研究では相関に対する分散の原因を追及し、以下の結果を得た。(1) モデル相関関係とくらべて異常に明るい天体には二種ある：(a) ひとつは、soft gamma-ray pulsar (非熱的放射)、(b) もうひとつは、熱的な放射をする中性子星で標準的な中性子星冷却曲線から超過した温度を示すもの。(2) 磁気圏放射による X 線光度と PWN の放射光度が正の相関を持つ。つまり、X 線光度を調整する原因パラメータは、PSR 磁気圏の X 線光度と PWN の光度を同時に調整・決定するという非常に興味深い結果を得た。

原因パラメータが磁気圏内の電子・陽電子増幅率であることを提案する。電子・陽電子増幅率が低い時、磁気圏では電子陽電子からのシンクロトロン光度が減少するが、パルサー風における加速効率が同じとすれば、これはパルサー風のローレンツ因子の増加を引き起こす。結果的に PWN の SED のピークが高エネルギー側に移動し、X 線光度は低下すると考える。実際、X 線で暗い PWN ではスペクトルが硬くなる現象が確認されている。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

W139a M31 で発見された X 線パルサーは中質量 X 線連星か？

鷹野重之（九州産業大）

2016 年初頭に M31 銀河で初となる X 線パルサーの発見が報告された (Esposito et al. 2016, MNRAS, 457, L5) . この天体は 1.2 秒周期の X 線パルスを放出し, 1.27 日の軌道周期変調を示している . 伴星は光学観測では見つかっておらず, また, 天体の位置が球状星団に近いために, この天体は小さな伴星をもつ低質量 X 線連星ではないかとの推測がなされている (Zolotukhin et al. 2016, arXiv:1602.05191) . しかし, 1.27 日という軌道周期は低質量 X 線連星系としては長く, 本当に伴星が低質量星かは疑問が残る .

そこで本研究では, 星進化コードを用いて伴星の満たすべき条件を求めた . その結果, 伴星が低質量星だとすると, 周期 1.27 日の連星系では宇宙年齢以内にロッシュローブを満たすことができないことがわかった . 安定的にロッシュローブが満たされるという条件より, 伴星の質量は概ね 1.5 太陽質量前後と推測される . 一方, この天体の中性子星はスピナップ・ダウンを繰り返す兆候を示しており, 回転平衡に近いと考えられる . このことを用いて, 1.2 秒というスピン周期から中性子星磁場を見積もると, およそ $7 \times 10^{11} \text{G}$ となり, 低質量 X 線連星系に含まれるような古い中性子星とは考えにくいこともわかった . このことから本天体は, Her X-1 のような低質量 X 線連星と大質量 X 線連星の中間的な天体であることが推測される .

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

W140a 降着駆動型 X 線パルサー GX 1+4 の輝線放射領域

吉田裕貴, 北本俊二, 星野晶夫, 鈴木大朗 (立教大理)

降着駆動型 X 線パルサーのスペクトルには中性もしくは低電離した鉄の蛍光輝線が見られる。それらの放射領域は十分に解明されていないが、その起源は、中性子星から遠く離れた領域に広がった伴星からの低電離の星風、あるいはアルフヴェンシェルもしくは降着円盤の内縁の中性子星近傍であるか密度の高い領域が候補として挙げられる。特に後者の場合は磁場中での中性子星への降着の様子を窺い知ることができる。

GX 1+4 は M5III 型巨星と中性子星との低質量 X 線連星系を成す X 線降着駆動型パルサーである。そのスペクトルには等価幅が非常に大きな鉄の蛍光輝線がある。あすか衛星の観測から得られた放射輝度と水素柱密度、鉄輝線の中心エネルギーから見積もられる電離度から、一様物質を仮定すると、X 線源から蛍光領域までの距離は 3×10^{12} cm 以上の低電離の星風起源であると議論された (Kotani et al. 1999)。

我々はすざく衛星が観測した GX 1+4 のデータからライトカーブを抽出し、folding 解析を行った。得られたパルスプロファイルを 8 分割し、鉄輝線付近の構造に着目した位相別スペクトル解析を行った。その結果、鉄の $K\alpha$ 輝線の強度が位相により振幅で 7% 程度の変動を示した。パルサーのような変動する X 線源が照射する場合、蛍光領域は周期的に移動する。蛍光領域が観測者に近づく場合、単位時間当たりの強度は強まり、離れる場合は弱まる。この効果を finite light speed の効果と呼び、大きな蛍光領域の場合、重要になる。大きな蛍光領域を考えて、7% の強度変動を説明するには細かいパラメータ調整が必要となる。一方で、非一様な物質を仮定すれば、finite light speed の効果を考慮して蛍光領域の大きさを 5×10^{10} cm とした場合、蛍光輝線の 7% の強度変動を説明することができ、電離状態とも矛盾しない結果が得られる。本公演ではより詳細な議論を行う。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

W141a **NuSTAR 衛星による降着駆動型パルサー 4U 1626–67 の観測**

岩切渉 (理化学研究所), Katja Pottschmidt(NASA/GSFC), Felix Fürst(California Institute of Technology), Paul Hemphill(University of California/San Diego)

降着駆動型パルサーは、X線天文学の初期より多くの観測がなされてきた一方で、その連続成分に対する物理的描像は十分に分かっていない。また、しばしば硬X線スペクトル中に観測される、電子のサイクロトロン共鳴散乱による吸収線のプロファイルに関しても、非弾性散乱や磁場勾配の効果を考慮すると、理論的には非対称なプロファイルが予想されるが (e.g, Nishimura 2005, Schonherr et al., 2007)、観測的には多くの天体において単純なガウシアン吸収モデルで再現される。我々は、より詳細なデータを得るために、現在硬X線帯域において最も高い感度とエネルギー分解能を誇る NuSTAR 衛星を用いて、 ~ 40 keV にサイクロトロン吸収線が確認されている降着駆動型パルサー 4U 1626–67 の観測を、2015年5月に行った。得られたデータの自転位相平均のスペクトル解析の結果、2012年秋季年会において報告したすざく衛星による2010年の観測結果と比較すると、3–10 keV の帯域ではX線光度が5%増加しており、この結果は MAXI/GSC で得られている2–10 keV の長期間のライトカーブとも矛盾がない。しかし、 ~ 20 keV に見られるスペクトルカットオフよりも高エネルギー側では、X線光度が $\sim 40\%$ 減光していることが分かった。経験的な ECUT モデルを用いたフィッティング結果からは、カットオフエネルギーは変化しておらず、カットオフの急峻さが変化していることが示唆される。また、サイクロトロン共鳴吸収線のプロファイルに関しては、従来の単純なガウシアン吸収モデルだけでは再現できない兆候を検出した。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

W142a 単独中性子星 RX J1856.5-3754 からの keV X 線超過成分の発見

米山友景, 林田清, 中嶋大, 井上翔太, 常深博

単独中性子星表面からの熱的放射は、核力モデルを検証する鍵となる中性子星の質量と半径を測定する上で重要である。ROSAT 衛星が発見した電波を出さない単独中性子星 (XDINS) のうち、RX J1856.5-3754 は最も近傍 (~ 120 pc) に存在する天体であり、現在に至るまで複数の X 線天文衛星で繰り返し観測されている。そのスペクトルは可視光での観測と併せて温度 $kT \sim 32$ eV と 63 eV の 2 温度黒体放射モデルで近似されることが知られており、他の XDINS とは異なり、吸収、輝線構造を持たない。時間変動もほぼしないことが分かっており、そのスペクトルの明確さから、軌道上での X 線検出器の軟 X 線検出効率の較正にも用いられてきた。

本研究で、すざく衛星搭載の XIS 及び XMM Newton 衛星搭載の EPIC-pn の二つの X 線 CCD について、それぞれ約 10 年間に渡るデータを網羅的に解析した結果、1keV 以上に 2 温度黒体放射では再現できない超過成分があることを発見した。これは従来知られていない成分であるため、検出効率の不定性、バックグラウンドの取り方、パイルアップ、他の点源のソース領域への混入などの可能性についてそれぞれ検証した。その結果、これらのいずれでも説明できないことが分かった。この超過成分の起源に関して、空間的に広がった放射である可能性も含めて議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

W143a *Swift* 衛星を用いた強磁場パルサーの系統的観測

渡邊瑛里、柴田晋平（山形大学）、坂本貴紀（青山学院大学）、馬場彩（東京大学）

中性子星の誕生時の磁場形成とその進化シナリオに迫るために、強磁場電波パルサー（双極磁場 10^{13} G 以上で定義）の中に存在するであろう、マグネターのよう磁場散逸によって X 線放射の超過を示す天体を *Swift* の XRT データを用いて探査した結果を発表する。

強磁場電波パルサーの磁場の素性を理解する為には、強磁場電波パルサーの中に磁場散逸によって X 線放射超過を起こしている天体がどれだけ存在し、パルサーの進化においてどのような位置にあるものかを明らかにする事が重要である。回転光度-X 線放射光度 ($L_{\text{rot}}-L_{\text{x}}$) の相関上における強磁場電波パルサーの分布は、回転駆動型の電波パルサーの分布と明らかに異なる (Shibata et al., 2016)。この違いは、回転駆動型パルサーの双極磁場強度が強いと、磁場散逸による X 線放射超過が起こることを示唆する。一方で、現在 X 線放射超過が確認されている 3 つの強磁場電波パルサーは、回転周期-回転変化率 ($P-\dot{P}$) ダイアグラム上で理論的な進化曲線 (Vigano et al., 2013) の上に存在している。この事は、強磁場電波パルサーがマグネターから進化したトロイダル磁場の卓越した天体である可能性を示している。

強磁場電波パルサーは、現在 56 天体が知られているが、38 天体は X 線で未観測または有効な文献値がなく、系統的な観測・解析が必要な状態にある。そこで我々は、これら 38 天体に対して *Swift* のデータの探査・解析を行った。24 天体の簡易解析の結果、 $L_{\text{rot}}-L_{\text{x}}$ 相関上で、電波パルサーの相関に沿うものとマグネター様の X 線放射超過を持つ 2 グループの存在が示唆された。また、未観測であるが検出見込みの高い 7 天体に対しては *Swift*-XRT で、現在、観測を行っている。この結果についても報告する。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

W144a ガンマ線連星 PSR B1259 + 63 と HESS J0632 + 057 の近赤外偏光観測

森谷友由希 (カブリ IPMU/広島大学宇宙科学センター), 河内明子, 千栴翔, 鈴木健太 (東海大学), 永山貴弘 (鹿児島大学), 他広島大学かなた望遠鏡観測チーム

PSR B1259 + 63 と HESS J0632 + 057 は共に大質量 X 線連星だが、特に電波から TeV ガンマ線まで広い帯域に亘って、軌道位相依存性を持った非熱的放射が見えていることから「ガンマ線連星」と呼ばれている。両系とも大質量星は薄く大きな星周円盤を持つ OB 型星 (Be 星) である。一方コンパクト天体は、PSR B1259 + 63 はパルサーと分かっているが HESS J0632 + 057 はパルサーかもしれない仮説 [Moritani et al.(2015)] があるもののその正体に決着がついていない。我々は南アフリカ共和国サザーランド観測所にある IRSF1.4m 望遠鏡を用いて、ガンマ線連星の近赤外線 (JHK_s) モニタリング観測を行い、軌道位相依存性の有無やその原因を究明している。

本講演では IRSF/SIRPOL を用いて 2010 年から 2012 年にかけて行われた両系の偏光観測の結果を紹介する。まず、PSR B1259 + 63 を観測した時期は 2010 年の近星点通過時に相当する。この時期、測光観測では近星点前から 0.1 等級程度増光し、各バンドで増光時期がずれていることが分かった (河内他：日本天文学会 2015 年秋季年会 J116a)。それに対し、偏光 ($P \sim 3\%$) には殆ど変化がなく、 QU 平面上でも有意な変化が見られなかった。これは、近赤外増光がパルサー風がより Be 星星周円盤の密度の高い部分と衝突を始めた結果起きるのではなく、Be 星星周円盤が僅かに伸縮することによるものという仮説に矛盾しない。

HESS J0632 + 057 の観測時期は軌道位相 0.2 前後であり、この期間で有意な変動は見られなかった ($P \sim 3\%$)。しかし、軌道位相依存性を調べる為に 2014 年からかなた望遠鏡を用いて行っている観測と比較したところ、4 年の間で QU 平面上で右下に移動しており、僅かに軌道位相依存性もあることも分かってきた。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

【W2. コンパクト天体】

9月14日(水) 午後(15:00-17:12) [H会場]

W201a	15:00	<i>Swift</i> 衛星で観測された X-Ray Flush の多波長解析 勝倉大輔 (青山学院大学)
W202a	15:12	電子エネルギー分布の時間進化を考慮したガンマ線バースト残光放射計算 福島拓真 (大阪大学)
W203a	15:24	相対論的衝撃波構造が GRB 放射スペクトルへ与える影響の評価 石井彩子 (東北大学)
W204a	15:36	相対論的電子による光子エネルギー遷移過程を考慮した GRB 放射モデルの検証 鍋島史花 (東北大学)
W205a	15:48	ガンマ線バーストのジェット駆動機構解明のためのニュートリノ輻射輸送の研究 西野裕基 (京都大学)
W206a	16:00	ガンマ線バーストに付随する超新星の爆発モデル 早川朝康 (京都大学)
W207a	16:12	質量比の大きい WZ Sge 型矮新星 ASASSN-16eg の発見 若松恭行 (京都大学)
W208a	16:24	ヘリウム激変星のスーパーアウトバーストと連星質量比 磯貝桂介 (京都大学)
W209a	16:36	軟 X 線期にかけての新星風の加速モデルと超エディントン光度 和田健太郎 (東京大学)
W210a	16:48	NuSTAR 衛星による 2XMM J230059.9+585730 の X 線バーストの発見 島直究 (名古屋大学)
W211b	17:00	強い吸収を受けた 6.7 keV 輝線放射天体 CXOGCS J174413.8-285424 佐治重孝 (名古屋大学)
W212c		γ Cas 及び γ Cas 型天体 HD 110432 の X 線放射機構の推定 森鼻久美子 (兵庫県立大学)
W213b	17:00	矮新星 QZ Vir の 2015 年のスーパーアウトバースト 今田明 (京都大学)
W214b	17:00	共生連星 AG Pegasi の 2015 年増光時における分光観測 (2) 安藤和子 (岡山理科大学)
W215b	17:12	WZ Sge 型矮新星の分布 (2) 大谷徳紀 (岡山理科大学)

W201a *Swift*衛星で観測された X-Ray Flush の多波長解析

勝倉 大輔, 吉田 篤正, 坂本 貴紀 (青山学院大学)

ガンマ線バースト (GRB) の中には X-Ray Flush (XRF) と呼ばれる、典型的な GRB (Classical GRB, 以下 C-GRB) に比べて、バースト本体における X 線の光子の割合が多いイベントが存在する。GRB のスペクトルにおいて、 νF_ν スペクトルのピークに対応する光子のエネルギーを E_{peak} と呼び、GRB の性質を表す指標とされている。XRF は C-GRB と同一起源の現象であることが *HETE-2* に代表される過去の観測により示唆されているが、 E_{peak} が C-GRB に比べて 1 桁から 2 桁ほど小さな値となっている。この XRF の特徴を説明する理論モデルは数種類あるが、未だにその放射過程は謎である。本研究では XRF 発生の物理過程に迫るため、まず 2014 年 2 月までに *Swift* 衛星の BAT (Burst Alert Telescope) で観測された GRB を、Sakamoto et al. (2008) の定義に基づき XRF, X-Ray Rich GRB (XRR), C-GRB の 3 種に分類した。次に、XRF は *Swift*-BAT、XRR と C-GRB は *Swift*-BAT と *Fermi*-GBM のデータを用いてバースト本体のスペクトル解析を行い、観測者静止系での E_{peak}^{obs} を求めた。赤方偏移が特定できているものは GRB 静止系での E_{peak}^{src} を求め、その値が XRF において全て有意に 100 keV 以下であり、かつ XRF から C-GRB まで連続的に分布することを確認した。続いて、*Swift* 衛星の X-Ray Telescope (XRT) で観測された GRB の X 線残光の解析を行った。その結果、0.3-10 keV の Luminosity が XRF では XRR や C-GRB に比べて暗い傾向があった。最後に赤方偏移がわかっている XRF について、*Swift*-XRT や地上の光学望遠鏡で観測された X 線・可視光残光のライトカーブを用い、Van Eerten et al. (2012) において開発されたライトカーブシミュレーションを元にしたモデルフィッティングを行い XRF の放射過程に迫った。本公演では、XRF のバースト本体から残光までの多波長のデータを系統的に解析した結果について報告する。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

W202a 電子エネルギー分布の時間進化を考慮したガンマ線バースト残光放射計算

福島拓真 (大阪大学)、杜驍、浅野勝晃 (東京大学)、藤田裕 (大阪大学)

ガンマ線バースト (GRB) により周囲に放出された物質は、周辺物質をはき集め衝撃波を形成する。その衝撃波面にて、磁場生成と粒子加速が行なわれ、加速された電子による非熱的放射を残光放射という。残光放射の時間発展は、爆風の時間発展で決まり、先行研究では、爆風の運動、電子のエネルギー分布、逃走光子の伝播の時間発展のいずれかを近似的に扱っていた。

本研究では、One-Zone としての相対論的な爆風の運動と、断熱冷却などの効果も含めた電子及び光子のエネルギー分布の時間発展を数値的に正確に計算した。さらに観測者にとっての残光の時間発展も正確に求めた。本講演では、解析的な結果と、より現実的な今回の数値計算結果を比較し、スペクトルの時間発展や、減光開始の時期、スペクトル指数と減光指数の関係、逆コンプトン散乱による GeV 放射などの定量的な議論を行う。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

W203a 相対論的衝撃波構造がGRB放射スペクトルへ与える影響の評価

石井彩子 (東北大学), 大西直文 (東北大学), 長倉洋樹 (Caltech), 伊藤博貴 (理研), 山田章一 (早稲田大学)

ガンマ線バースト (GRB) の詳細な放射機構は, その発見から 40 年以上経つ現在も未解明の状態である. 数値的な研究として, ジェット構造をモデル化した定常流体場中での輻射輸送計算から非熱的スペクトルが生成されることが示され, また相対論的流体計算からジェット構造が放射スペクトルに影響を与えることが指摘されてきた. しかし, GRB に特徴的なべき法則を持つスペクトルを再現できる計算はまだ実現されていない. GRB 放射を数値計算上で再現するためには, 超相対論的流体 (流速のローレンツファクター $\Gamma \gtrsim 100$), 輻射の強い非等方性, そして輻射と物質の相互作用によるフィードバックの効果を考慮する必要があるが, これらを考慮した輻射流体計算は非常に計算負荷が高く世界的にもまだ報告されていないため, 計算負荷低減のための手法を検討していく必要がある. 特に, 輻射フィードバックを考慮した計算では輻射媒介衝撃波を考慮することができ, この衝撃波構造は放射スペクトルに大きな影響を与えると指摘されている.

我々は, 上記のような輻射流体計算を実現するために, モンテカルロ法を用いた 3 次元輻射計算コードを開発し, 相対論的流体場中で様々な検証計算を行ってきた. 熱的放射, トムソン散乱およびコンプトン散乱を考慮し, 吸収は除いて計算を行った. 検証の結果, 超相対論的流体場では流体場の変化の時間幅や空間精度などの計算条件が輻射計算結果のスペクトルに大きな影響を与えることがわかった. これらを踏まえ, まずは輻射フィードバックを除いてモンテカルロ輻射輸送-流体結合計算を行い, 計算条件が衝撃波構造および放射スペクトルへと与える影響について議論する.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

W204a 相対論的電子による光子エネルギー遷移過程を考慮した GRB 放射モデルの検証

鍋島史花（東北大学）、石井彩子（東北大学）、大西直文（東北大学）

ガンマ線バースト（GRB）の放射スペクトルは非熱的な構造を持っており、その放射構造を解明しようとこれまで様々な議論がされてきたが、観測スペクトルを再現するモデルは未だ提案されていない。GRB は大質量星が重力崩壊を起こす際に付随して、相対論的ジェットが生じることが起源と考えられている。ジェット内に存在する幾つかの衝撃波により光子が高温の電子と出会い、平衡状態へと遷移する過程で非熱的なスペクトルが形成される可能性がある。GRB 放射スペクトルの非熱的な構造が電子・光子の平衡遷移過程で見られる可能性を検証するためには、輻射輸送計算において相対論的な電子分布を適切に与えることや相対論的電子と光子の間のエネルギー交換を正確に表現することが重要である。

我々は、GRB 放射スペクトルを再現するモデルを構築することを目指し、電子・光子のエネルギー変化を正確に追尾する計算コードを開発してきた。相対論的な衝撃波を考え、低温の光子が高温の電子と相互作用を起こすような状況を想定し、散乱優位な流体場においてモンテカルロ法を用いて3次元輻射輸送計算を行った。初期電子および光子は温度は異なるがそれぞれ平衡状態にあると考え、Wien 分布および Maxwell - Jüttner 分布で与えた。相対論的な電子と光子の衝突により逆コンプトン散乱が起こり高エネルギー光子が生成される過程を再現できること、平衡状態へ遷移する過程で非熱的なスペクトルが得られることがわかった。また、観測結果に近いスペクトルを得るために必要な光学的厚さや電子・光子の初期温度について検討した。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

W205a **ガンマ線バーストのジェット駆動機構解明のためのニュートリノ輻射輸送の研究**

西野裕基（京都大学）、長倉洋樹（カリフォルニア工科大学）、柴田大（基礎物理学研究所）、関口雄一郎（東邦大学）

2015年の9月14日にアメリカの重力波検出器 advanced LIGO は重力波の直接検出に初めて成功した。重力波源は太陽質量の29倍と36倍の2つのブラックホールの衝突・合体であると推定された (Abbott et al. 2016)。このような2つのブラックホール合体の次に、世界中の地上型重力波干渉計が狙うターゲットが中性子星を含む近接連星の合体現象である。これらの現象に着目する理由は、合体時に重力波だけでなく、観測可能な電磁波、ニュートリノが期待されるためである。連星の少なくとも一方が中性子星ならば、合体後に超大質量中性子星やブラックホール降着円盤を作りうる。連星合体時に形成される高温高密度な系で何らかの機構によって幾何学的に絞られたジェットが形成され、特に継続時間が短い、ショートガンマ線バーストを起こす可能性がある。しかし、このようなジェットを駆動する機構は未解決の問題である。ジェットの有力な駆動機構として、ニュートリノ対消滅ジェット説が提案されている (Eichler et al. 1989; Narayan et al. 1992)。この説では、高温・高密度な領域から放射されたニュートリノが衝突・対消滅し、電子と陽電子からなるプラズマ（相対論的なジェット）を作ると考えられている。ニュートリノ対消滅機構の検証のためにはニュートリノ輻射輸送の計算が必要である。計算すべきニュートリノ対消滅率は衝突角度とエネルギーに対して大きな依存性を持つので、空間・運動量についての多次元分布関数を高分解能で解かなければならない。そこで、輻射輸送を少ない計算量で解くことができる ray-tracing 法を用いて計算を行った。本発表では、その手法と得られた結果について議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

W206a ガンマ線バーストに付随する超新星の爆発モデル

早川朝康, 前田啓一 (京都大学)

全天で最も明るい現象として、GRB (ガンマ線バースト) や超新星といった星の進化の最終段階での爆発現象がある。爆発的に重元素を合成し周囲にばらまかれるために、宇宙の進化を探る上でこれらの現象の理解が欠かせない。これらは、別々の現象として観測されてきたが、近年 GRB に伴い超新星が観測される例が十数例見つかった。GRB 付随超新星は爆発機構がよくわかっていないのに加えて、GRB のエネルギーや超新星の特徴に関して多様性があることが観測からわかっており、一層謎を深めている。

GRB を説明するモデルとして、collapsar モデルと呼ばれる高速回転する大質量星の重力崩壊モデルが考えられている。GRB 付随超新星は重力崩壊型超新星であり、GRB を起こす際にどのように超新星も引き起こすかが議論されている。Collapsar モデルでは、大質量星の重力崩壊後に中心にブラックホール、その周りに降着円盤を作り、降着で解放した重力エネルギーが GRB ジェットを形成するとされている。また降着円盤からは円盤風と呼ばれる光速に近い速度でガスが噴出され、この円盤風が外層を吹き飛ばし超新星になると予想されている。

しかし、collapsar モデルの枠組みで超新星も発生するかは自明でなく、GRB と超新星の関係性は明らかになっていない。本研究では、collapsar モデルを、外層を含めた円盤とブラックホールからなる系とし、典型的な降着率からそれぞれの時間進化を追い、GRB エネルギーや超新星のエネルギー・放出された質量を見積もった。この結果の一部は 2015 年秋季年会で発表した。今回は円盤風の幾何形状を考慮に入れ、新たに計算を行った。その結果、双極的な円盤風が吹き出す時のみ超新星になり、一部の観測を説明できること、また GRB エネルギーの多様性を、親星の角運動量の違いで説明できることもわかった。講演ではこれらの内容について詳しく議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

W207a 質量比の大きい WZ Sge 型矮新星 ASASSN-16eg の発見

若松恭行, 野上大作, 加藤太一, 木邑真理子, 磯貝桂介 (京都大学), Tonny Vanmunster, Tordai Tamás, Goeff Stone, Michael Richmond, Josch Hamsch, 伊藤弘, 赤澤秀彦, 清田誠一郎, Enrique de Miguel (VSNET), Elena Pavlenko (CrAO), 他 VSNET Collaboration

矮新星は白色矮星を主星に持つ近接連星系で、降着円盤の増光現象であるアウトバーストが観測される。その中でも、WZ Sge 型矮新星では、スーパーアウトバーストと呼ばれる大規模な増光現象の初期に、伴星の軌道周期とほぼ等しい周期を持つ早期スーパーランプが観測される場合が多い。これは、降着円盤内の物質と軌道運動が 2:1 共鳴を起こすことで生じると考えられている微小な光度変動である。2:1 共鳴半径まで降着円盤が広がるためには、主星に対する伴星の質量比がある程度小さな値を持つ必要があり、実際、典型的な WZ Sge 型矮新星の質量比は $q = 0.06\text{--}0.08$ である。また、典型的な軌道周期は $P_{\text{orb}} = 0.054\text{--}0.056$ 日である。

2016 年 4 月にスーパーアウトバーストを起こした WZ Sge 型矮新星 ASASSN-16eg について、我々は VSNET を通じて観測を呼びかけ、国際的な可視連続測光観測を行った。今回発見された ASASSN-16eg は、スーパーアウトバースト中に早期スーパーランプが観測されており、WZ Sge 型矮新星であることが確定した。軌道周期は $P_{\text{orb}} = 0.07552(1)$ 日で、これは典型的な WZ Sge 型矮新星の軌道周期と比べて約 1.3 倍である。また、質量比は $q = 0.157(3)$ で、これは典型的な WZ Sge 型矮新星の質量比と比べて約 2 倍である。これだけ大きな質量比を持つ系で 2:1 共鳴を起こせるのかはわかっておらず、早期スーパーランプや 2:1 共鳴の発生機構のさらなる理解に繋がると期待される。本講演では、ASASSN-16eg の可視観測データの解析結果について報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

W208a ヘリウム激変星のスーパーアウトバーストと連星質量比

磯貝桂介, 加藤太一, 野上大作 (京都大学), Josch Hamsch, Berto Monard, Lew Cook, Gordon Myers (VSNET)

ヘリウム激変星 (AM CVn 型星) とは、主星が白色矮星、伴星がヘリウム星またはヘリウム白色矮星であるような近接連星系であり、降着円盤を持つためアウトバーストを起こす天体も多い。ヘリウム激変星の降着円盤は、通常の激変星とは異なり主にヘリウムで構成されるが、これまで発見数が少なく、アウトバーストの詳細な観測は少なかった。しかし、近年のサーベイ技術の発達と、我々が主導する VSNET による機動的な可視連続測光観測により、これまで見えて来なかったヘリウム円盤でのアウトバーストの振る舞いが観測され始めた。

本講演では、近年アウトバーストを起こした 2 天体 ASASSN-14ei と NSV 1440 について主に報告する。2014 年 8 月にスーパーアウトバーストを起こした ASASSN-14ei では、1 年以上にわたる再増光とスーパーハンプが観測された。通常の激変星では長くとも数週間程度であり、ヘリウム激変星特有の振る舞いであることが示唆される。2015 年 12 月にアウトバーストを起こした NSV 1440 では、ヘリウム激変星としては初めてのダブルスーパーアウトバーストが観測された。ダブルスーパーアウトバーストの発生条件は質量比が低いことだと考えられており、事実、通常の激変星では、進化の最終段階でのみ見られる。我々が推定した NSV 1440 の質量比も、他のアウトバーストを起こすヘリウム激変星に比べ小さく、上記の発生機構を支持する結果となった。

また、成長途中のスーパーハンプ周期を利用した最新の連星質量比推定法により、これまで多くの天体で概算にとどまっていた、ヘリウム激変星の質量比を正確に推定した。これにより、ヘリウム激変星の連星進化経路が徐々に明らかになってきた。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

W209a 軟 X 線期にかけての新星風の加速モデルと超エディントン光度

和田健太郎, 茂山俊和 (東京大学)

軟 X 線期の新星の中には、質量放出が続いているものが存在することが観測的に示唆されているが (Ness 2010, Ness et al. 2013)、この現象には、まだ十分な理論的説明があたえられていない。Chandrasekhar 質量に近い重い白色矮星での新星は光度曲線の変化が速く、すぐに軟 X 線期に移行すると考えられるため、こうした軟 X 線期の新星を説明することは重要であると考えられる。今回の研究では、希薄な新星風が、光球を超えて加速されるような状況を想定することで、SSS 期初期の新星風の加速の説明を試みた。新星の定量的なモデルはいくつか研究されてきたが、長期にわたる状態の変化を追い、光度やイジェクタの速度等の観測と比較できる量を再現できているモデルとして、Optically thick wind theory (Kato & Hachisu 1994) が優れていたため、このモデルをもとに、今回考えている状況を記述できるような拡張を行った。光学的に厚い領域と薄い領域をつなぐために、変動 Eddington 因子法を用いた輻射流体計算を行い、新星風の定常解の系列を求めた。数値計算の結果、軟 X 線期において、新星風が光球を超えて加速され、また、Eddington 光度を超える明るさで輝くような解が見つかった。こうした解は、光度、質量放出率、速度のパラメータ空間で新星の進化を追っていくと、自然にあらわれてくることわかった。新星の継続時間と光度曲線の変化の速さについては、白色矮星の質量に依存するという先行研究での指摘が確認された。また、軟 X 線期の最大光度は白色矮星の質量が大きいほど明るくなった。

Kato, M. & Hachisu, I. 1994, ApJ, 437, 802

Ness, J. 2010, Astron. Nachr., 331, 179

Ness, J., et al. 2013, A&A, 559, A50

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

W210a NuSTAR 衛星による 2XMM J230059.9+585730 の X 線バーストの発見

島 直究, 松本浩典, 田原譲, 三石郁之, 佐治重孝

($R.A., Dec.$) = (23 : 01 : 00, +58, 57, 28), (l, b) = (109.1036, -0.9165) において、突発的な増光を起こす天体を X 線天文衛星 NuSTAR の観測で発見した。これは代表的なマグネターの 1 つである 1E2259+586 の北部 5 分角ほどに位置し、NuSTAR 衛星による 1E2259+586 の 4 回の観測のうち 1 回 (2013/4/24 - 25, 37.3 ks) においてのみ検出された。

X 線バーストの減光のタイムスケールは 88_{-50}^{+79} sec であり、NuSTAR 衛星ではバースト時以外は検出できなかったため、このバースト部分のみのスペクトルを抽出した。NuSTAR 衛星の感度帯域である 3.0 - 80.0 keV の範囲において、吸収のかかった power-law モデルでフィッティングを行った結果、 $N_H = 15_{-10}^{+13} \times 10^{22} \text{ cm}^{-2}$, $\Gamma = 2.8_{-0.5}^{+0.6}$, $\chi_{red}^2 = 0.88$ (11 *d.o.f*) で良く再現できたものの、6.5 - 7.0 keV 付近に輝線状の構造がみられた。さらにモデルにガウシアンを追加したところ、有為水準 96 % でフィッティングが改善され、輝線の中心エネルギーとして $6.75_{-0.19}^{+0.53}$ keV を得た。また $N_H < 22 \times 10^{22} \text{ cm}^{-2}$, $\Gamma = 2.5_{-0.6}^{+0.7}$, $\chi_{red}^2 = 0.44$ (8 *d.o.f*) , ピーク時のフラックスは $7.6 \pm 1.1 \times 10^{-11} \text{ erg cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ であった。

本天体の位置は 2XMM J230059.9+585730 と一致しており、この位置は X 線天文衛星 XMM - Newton でも合計 282.1 ks ぶん観測されている。本講演では NuSTAR 衛星の他、XMM-Newton 衛星等のデータを含めた解析結果について報告する。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

W211b 強い吸収を受けた 6.7 keV 輝線放射天体 CXOGCS J174413.8-285424

佐治重孝, 松本浩典, 田原譲, 三石郁之 (名古屋大学)

NuSTAR が観測した銀河中心領域の硬 X 線データを解析したところ、銀河中心から約 0.3 度の位置 ($(R.A., Dec.) = (17:44:13, -28:54:26)$, $(l, b) = (359.8663, +0.2748)$) に 10–30 keV の硬 X 線帯域で特に明るい天体を発見した。詳細な調査のために、すざく (2 観測、合計 exposure = 76.4 ks)、NuSTAR (1 観測、39.4 ks)、XMM-Newton (8 観測、45.2 ks (pn) + 84.1 ks (MOS)) および Chandra (5 観測、100.7 ks) のアーカイブデータを解析した。

解析の結果、本天体の位置は CXOGCS J174413.8-285424 と一致していた。個々の観測中には有意な光度変化がみられなかったが、観測ごとのフラックスは少なくとも年程度のタイムスケールで変動していた。例えば 2006 年のすざく観測時の 3.0–10 keV フラックスは $(3.6 \pm 0.5) \times 10^{-13} \text{ erg cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (誤差は 90% 信頼区間) であった一方、2014 年の NuSTAR 観測時には $(2.1 \pm 0.5) \times 10^{-13} \text{ erg cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ であった。すざくおよび NuSTAR で得られたスペクトルを解析した結果、いずれの観測でも 6–7 keV 付近に輝線状の構造がみられた。スペクトルが時間変化していないと仮定し、吸収のかかった power-law にガウシアンを加えたモデルでフィットした結果、吸収の柱密度は $N_{\text{H}} = 23_{-11}^{+16} \times 10^{22} \text{ cm}^{-2}$ と銀河面吸収より 1 桁以上高い値を得た。また、べきは $\Gamma = 1.6_{-0.5}^{+0.6}$ 、輝線の中心エネルギーは $E_{\text{line}} = 6.68_{-0.06}^{+0.04} \text{ keV}$ 、等価幅は $610_{-290}^{+160} \text{ eV}$ であった。power-law の代わりに熱制動放射モデルを用いたところ、電子温度は $T_e > 25 \text{ keV}$ であった。Chandra および XMM-Newton で得たスペクトルも、おおむね同様のパラメータで再現出来た。

He 状鉄とみられる強い輝線および $> 25 \text{ keV}$ の制動放射モデルで再現できるスペクトルから、本天体は magnetic CV である可能性が考えられる。本講演では解析で得た結果と、予想される天体の素性について議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

W212c γ Cas 及び γ Cas 型天体 HD 110432 の X 線放射機構の推定

森鼻久美子 (兵庫県立大学)、辻本匡弘 (JAXA/ISAS)、林多佳由 (名古屋大学/NASA ゴダード宇宙飛行センター)

Be 型星は、可視域で水素のバルマー系列を輝線として持つ B 型星で、輝線の存在は Be 型星が円盤など光学的に薄いプラズマを持つことを示す。B0.5IV の γ Cas はこのような星の一つで、可視域では最も明るく典型的な Be 型星とされてきた。一方 X 線域では、X 線光度は $\sim 10^{32}$ – 10^{33} erg cm⁻² s⁻¹ と通常の Be 型星より大きく、プラズマ温度は 10keV を超える熱的放射と特異な性質を持つ (e.g., Kubo et al., 1998)。 γ Cas は長年このような性質を持つ唯一の天体であったが、硬 X 線域の検出感度が向上したチャンドラ衛星等の出現により、 γ Cas 同様の性質を持つ天体が発見された (e.g., Motch et al., 2005)。これらは γ Cas 型天体と総称され、9 天体が知られている。

γ Cas 型天体の X 線放射モデルには、(1) 磁場を持つ単独 Be 型星の星表面での磁場活動によるモデル (Smith et al., 2006) と (2) 白色矮星と Be 型星との半接触型連星モデル (e.g., Murakami et al., 1986) がある。放射モデルの区別には、高温プラズマと 6.4 keV 蛍光鉄輝線から示唆される中性物質を見込む立体角が鍵となる。立体角は、中性物質にある (i) 鉄の K 殻電子による X 線光電吸収と 6.4 keV 蛍光輝線放射、(ii) 電子による入射 X 線のコンプトン散乱 (20–40 keV) としてデータに表れる。我々は、すざく衛星による γ Cas と γ Cas 型天体 HD 110432 の広帯域 X 線スペクトルを解析し、多温度プラズマ放射と中性物質からの反射を考慮したモデルで表した。その結果、X 線放射領域は、中心天体の半径の 28% 以内 (γ Cas)、8% 以内 (HD 110432) であると分かった。また、白色矮星と Be 星の連星系を仮定した場合に、白色矮星への質量降着を考えた post-shock accretion column モデル (Hayashi & Ishida 2014) による定性的な議論も行った。本講演では、これらの結果について紹介する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

W213b 矮新星 QZ Vir の 2015 年のスーパーアウトバースト

今田明, 加藤太一, 磯貝桂介 (京都大学), Josch Hamsch (VSNET), 他 VSNET Collaboration Team

QZ Vir (= T Leo) は北天で最も有名な SU UMa 型矮新星のひとつとして古くから観測されてきた天体であるが、2015年2月に発生した superoutburst はこれまでのものと大きく異なっていた。通常 superoutburst は precursor と plateau が連結して観測される。ところが今回の場合それらが完全に分離した形で観測され、更に precursor 終了段階から plateau の開始までの約5日間、天体の等級は静穏時とほぼ同等の状態でも周期 0.06118 日の superhump が観測された。この superhump 周期は過去に QZ Vir で観測されたものと比べて1%以上長く、また周期変動は観測されなかった。このことから今回観測された周期 0.06118 日の superhump は Kato et al. (2009) で定義されている stage A superhump であると結論づけることができる。

我々は今回観測された stage A superhump 周期による連星質量比決定の新技术 (Kato, Osaki 2013) を用いて、これまで求められていなかった QZ Vir の質量比を $q = 0.108$ と決定した。この値は QZ Vir において指摘されていた矮新星特殊進化の可能性を排除し、標準進化を示唆するものとなった。

本講演では QZ Vir の質量比決定の報告とともに、今回観測された stage A superhump に基づく熱潮汐不安定モデルの検証について講演する。また、stage A superhump を用いた質量比決定法の今後の展開について議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

W214b 共生連星 AG Pegasi の 2015 年増光時における分光観測 (2)

安藤和子, 田邊健茲 (岡山理科大学)

AG Peg (ペガス座 AG 星) は M 型巨星と白色矮星の共生連星として知られ、かつ共生的新星 (symbiotic nova) あるいは古典的新星の中の very slow nova に分類されている。この星は、1821 年に 9 等級の変光星として発見された。その後 1855 年頃にアウトバーストを起こし、ゆっくりと約 30 年かけて増光し、極大等級は 6 等級に達した。そしてその後約 100 年かけて減光した。この星は 2015 年 6 月に 150 年ぶりに、約 7 等まで増光していることが発見された。(前原 vsolj-219, 2015.6.24)

前回の日本天文学会 2016 年春季年会では、岡山理科大学天文台の低分散可視分光器 DSS-7 を用いて、2015 年増光時に観測したスペクトルとその時間変化について発表した。その際、測光観測 (AAVSO による) の光度曲線の振舞いと、我々の観測データに基づいた Balmer 逓減率の相関により、ダストの形成と関係があると解釈できた。また、2015 年の新星爆発は光度曲線の振舞いから 1870 年の増光よりも、むしろ 1920 年の増光と類似すると考えた。

今回は AG Peg の 2016 年 4 月以降のスペクトルの時間変化、光度変化から新星としてのスペクトルの変動を報告する。それとともに、2016 年 4 月に増光が発見された共生連星 T CrB (かんむり座 T 星) および AG Dra (りゅう座 AG 星) の 2 星に対して、我々が取得した観測データから、これらのスペクトルについて比較を行う。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

W215b WZ Sge 型矮新星の分布 (2)

大谷徳紀, 田邊健茲 (岡山理科大学)

WZ Sge(や座 WZ 星) 型矮新星は SU UMa(おおぐま座 SU 星) 型矮新星のサブタイプで、その増光幅が大きいこと、軌道周期が最も短い(~80 分) こと等のはっきりとした特徴がある。この矮新星はここ十年余りで発見件数が急増した。

2016 年春季年会では、WZ Sge 型矮新星を銀河座標 (l, b) での 2 次元プロットを行い、この型の矮新星の分布を調べた。そして、WZ Sge 型矮新星の Prototype である WZ Sge の極大等級 (V バンド) と、ハッブル宇宙望遠鏡で得られた距離 ($43.5 \pm 0.3 \text{ pc}$; Harrison et al. 2004) を用いて、絶対等級 M_V を算出し ($M_V = 5.02$)、各矮新星の距離を求めた。しかし、 $A_V = 0$ として計算していたため、 (l, b) を (X, Y, Z) に変換して 3 次元プロットを行った際、 Z の値が銀河系の Thin disk の厚さ (325 pc) を超えてしまった。

今回、この問題を解決するため、WZ Sge 型矮新星のリストのうち、最も銀緯が高い ASASSN-14gx [$(l, b) = (15.179, -76.443)$] の星間吸収 A_V を求め、その値を A_V の最小値とした。さらに、V バンドで測光された全ての WZ Sge 型矮新星が Thin Disk 内 ($Z < 325 \text{ pc}$) にあると仮定した時の A_V の値を計算したので、その結果を報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

【X. 銀河形成】

9月14日(水) 午後(15:00-17:00) [I会場]

X01a	15:00	Pa α 輝線で探る近傍 LIRG の空間分解された星形成活動 北川祐太郎 (東京大学)
X02a	15:12	棒渦巻銀河の棒部における星形成の抑制 太田耕司 (京都大学)
X03a	15:24	円盤銀河における Kennicutt-Schmidt 則の多様性の起源 諸隈佳菜 (国立天文台)
X04a	15:36	円盤銀河における星の年齢速度分散関係の起源 熊本淳 (東北大学)
X05a	15:48	MUSCL 法を用いた Godunov SPH 法の高次精度化 藤原隆寛 (筑波大学)
X06a	16:00	銀河形成シミュレーションによるパッシブ銀河の化学進化 岡本崇 (北海道大学)
X07a	16:12	化学進化シミュレーション用ライブラリ CELib の開発 II 斎藤貴之 (東京工業大学)
X08a	16:24	ダスト形成を考慮した孤立系銀河シミュレーションと観測量との比較 青山尚平 (大阪大学)
X09a	16:36	Cusp-core 問題における周期的な SN フィードバックによる重力場変動と DMH の中心密度分布の関連性 加藤一輝 (筑波大学)
X10b	16:48	ダスト・ガス二流体で解く大質量星からの輻射フィードバック 一色翔平 (北海道大学)
X11b	16:48	宇宙論的シミュレーションで探る Milky Way-mass galaxy の形成過程 畑千香子 (北海道大学)

9月15日(木) 午前(09:30-11:30) [I会場]

X12a	09:30	赤方偏移 2 における Ly α 光度関数の明るい側と暗い側への強い制限 今野彰 (東京大学)
X13a	09:42	直接温度法で探る $z \sim 2$ 星形成銀河の星間物質進化 小島崇史 (東京大学)
X14a	09:54	近赤外線分光観測で探る $z \sim 3.23$ の [OIII] 輝線銀河の物理状態 鈴木智子 (総合研究大学院大学/国立天文台)
X15a	10:06	ALMA Demographics of [CII]158 μ m and Dust Emission in Star-Forming Galaxies at $z \sim 5-9$ 藤本征史 (東京大学)
X16a	10:18	重力レンズを利用した $z > 6$ の銀河のサイズ測定と得られる物理的描像 川俣良太 (東京大学)
X17a	10:30	SXDF-ALMA 2-arcmin ² Deep Survey: 1.1-mm number counts 廿日出文洋 (国立天文台)
X18a	10:42	SXDF-ALMA 2 arcmin ² Deep Survey のデータを用いた無バイアスマリ波分子輝線銀河探索 山口裕貴 (東京大学)
X19b	10:54	ALMA cycle 2 サーベイデータを用いた $z = 6$ [CII] 輝線銀河探索 早津夏己 (東京大学)
X20b	10:54	赤方偏移 $z \sim 0.9$ の [OII] 輝線銀河の色と星質量、赤外線光度 村田一心 (宇宙航空研究開発機構)
X21b	10:54	SSA22 原始銀河団領域における広範囲に渡る中性水素ガス密度超過 馬渡健 (大阪産業大学)
X22a	11:06	近傍の星形成銀河における分子ガスの性質と銀河環境の関係 小山舜平 (東京工業大学/宇宙航空研究開発機構)
X23a	11:18	すばる望遠鏡 HSC で探る銀河団銀河の星形成史: $z \sim 1$ におけるパイロットスタディ 山元萌黄 (総合研究大学院大学)

(次頁に続く)

【X. 銀河形成】

9月15日(木) 午後(13:30-15:30) [I会場]

X24a	13:30	ハーシェル宇宙望遠鏡で探る $z = 2 - 3$ 原始銀河団の星形成活動	加藤裕太 (東京大学)
X25a	13:42	赤方偏移 2.5 の原始銀河団における小質量の爆発的星形成銀河	林将央 (国立天文台)
X26a	13:54	A protocluster at $z = 2.5$ II. ISM properties revealed by ALMA	Minju Lee (東京大学)
X27a	14:06	HSC すばる戦略枠観測サーベイによる多重クエーサー系周囲の環境調査	尾上匡房 (総合研究大学院大学)
X28a	14:18	赤方偏移 7 の UV 光で明るい星形成銀河の Ly α 輝線率の研究	古澤久徳 (国立天文台)
X29a	14:30	赤方偏移 $z = 7.2$ ライマン α 輝線銀河の遠赤外線 [O III] 88 μm 輝線の検出	井上昭雄 (大阪産業大学)
X30a	14:42	Hubble Frontier Fields 観測で探る高赤方偏移銀河の紫外線光度関数と宇宙再電離	石垣真史 (東京大学)
X31b	14:54	多波長分光データで探る $z = 5 - 8$ における銀河の星間物質と宇宙再電離	播金優一 (東京大学)
X32b	14:54	cosmic noon の小質量銀河の星形成活動とその性質	日下部晴香 (東京大学)
X33b	14:54	$z \sim 6$ Ly α Emitters の Ly α 光度関数と宇宙再電離	樋口諒 (東京大学)
X34a	15:06	ALMA Deep Field in SSA22: The survey description and source catalogue	梅畑豪紀 (東京大学)
X35a	15:18	A spectroscopically confirmed double source-plane lens system in HSC-SSP	田中賢幸 (国立天文台)

9月16日(金) 午前(09:30-11:30) [I会場]

X36a	09:30	巨大ブラックホールのガス降着進化：非等方輻射フィードバックの効果	杉村和幸 (東北大学)
X37a	09:42	ブラックホール バルジ質量関係から得られる銀河 ブラックホール共進化描像	白方光 (北海道大学)
X38a	09:54	Subaru High- z Exploration of Low-Luminosity Quasars (SHELLQs) II	松岡良樹 (国立天文台)
X39a	10:06	Two-point angular correlation function of Dust Obscured Galaxies discovered by HSC and WISE	Yoshiki Toba (ASIAA)
X40a	10:18	HSC-FIRST radio galaxy survey. I. Selection and initial results	延原広大 (愛媛大学)
X41c		準解析的銀河・AGN 形成モデルへのスリム円盤モデルの導入	大木平 (カブリ IPMU)
X42c		クエーサー環境と周囲の銀河へのフィードバック	菊田智史 (総合研究大学院大学/国立天文台)
X43a	10:30	分子ガス密度の宇宙論的進化	前田郁弥 (京都大学)
X44a	10:42	ALMA Millimeter Sizes of $z \sim 1-4$ Bright Submillimeter Galaxies	Soh Ikarashi (Kapteyn Astronomical Institute, University of Groningen)
X45a	10:54	Central Structure of the Brightest Unlensed Submillimeter Galaxies	伊王野大介 (国立天文台)
X46a	11:06	SCUBA2 Lensing Survey	Tomotsugu Goto (National Tsing Hua University)
X47a	11:18	$z \sim 1$ と 0 の銀河団における早期型銀河の等面輝度形状について	満田和真 (東京大学)

X01a Pa α 輝線で探る近傍 LIRG の空間分解された星形成活動

北川祐太郎 (東京大学), 小山佑世 (国立天文台), 本原顕太郎 (東京大学), 田中壘, 児玉忠恭, 美濃和陽典, 林将央 (国立天文台), 但木謙一 (MPE), 鈴木智子, 嶋川里澄, 山元萌黄 (総研大)

我々はすばる望遠鏡の近赤外線分光撮像装置 IRCS をもちいて、赤方偏移 $z \sim 0.1$ における赤外線高光度銀河 (LIRG) の撮像観測をおこなった。本講演では、銀河の各領域ごとに星形成率と星質量関係を算出し、星形成活動とその空間構造との関係を議論した結果について報告する。

LIRG はその全赤外光度が $L(8-1000 \mu\text{m}) > 10^{11} L_{\odot}$ と赤外で非常に明るく輝いている種族であり、そのパワーソースのひとつとしてダストに深く埋もれた爆発的な星形成活動が挙げられている。星形成活動を支えている物理的機構を調べるには、銀河内の各領域で星形成率を算出するなど空間情報を知ることが有用な情報となる。しかし星形成の指標としてよく用いられる可視輝線や紫外連続光では減光を激しく受けるため、ダストに深く埋もれた星形成領域の様子を知るとは非常に困難である。そこで我々は、近赤外領域の水素電離輝線 Pa α (静止系波長 $1.875 \mu\text{m}$) に着目し、ダストに埋もれた星形成活動を高空間分解能でしらべることが目的として IRCS での撮像観測をおこなった。

狭帯域フィルタで赤方偏移した Pa α 輝線を捉えることで、約 10 天体について星形成率の空間マップを算出した。さらに 2 天体については補償光学 (AO188) を使用することで約 0.2 arcsec FWHM という高空間分解能を達成した。その初期解析結果からサブ kpc の空間スケールにおいても星質量と星形成率の間に相関関係 (Spatially Resolved Star Formation Main Sequence) が成り立つことが明らかとなっており、銀河全体の星形成活動が微視的スケールの星形成活動のボトムアップで理解できる可能性を示唆している。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

X02a 棒渦巻銀河の棒部における星形成の抑制

太田耕司, 世古明史, 青野佑弥 (京都大学), 羽部朝男, 藤本裕輔 (北海道大学), 馬場淳一 (愛媛大学)

渦巻銀河の腕部では、ダークレーンに分子ガスが存在しそこで星形成が起こっている。その結果、腕に沿って HII 領域が形成されている。しかし、棒渦巻銀河の棒部では顕著なダークレーンが見えているにも関わらず HII 領域が見られず、重い星の形成が見られない。棒部での星形成を抑制している原因は長年の謎となっている。最近の高空間分解能シミュレーションによって、棒部では分子雲同士の相対速度が大きく、衝突のタイムスケールが短くてコアが十分成長しない為、重い星が形成されないという新しい描像が提出された。このシナリオを検証するためには、棒部で星形成が見られず腕部では星形成が見られる棒渦巻銀河を対象に、棒部と腕部での分子雲の相対速度を明らかにすることが必要である。

そこで、このような特徴を顕著に示すプロトタイプの棒渦巻銀河 NGC1300(距離 20Mpc) の CO 観測を野辺山 45m で行なった。観測は 2016 年 1-2 月(補填観測を 4 月)に行い、ビームサイズは 1.5 kpc に対応する。その結果、棒部腕部共に CO 輝線を検出することができた。これまで NGC1300 の棒部での CO 検出はなかったが、棒部にもちゃんと分子ガスがあるということが明らかになった。ビーム内の分子ガスの質量は、いずれも $\sim 2 \times 10^8 M_{\odot}$ であったが、速度幅は、棒部では 150 km s^{-1} 、腕部では 100 km s^{-1} と棒部の方が大きかった。ビーム内での速度場が反映されている可能性もあるが、この結果は棒部での分子ガス雲の相対速度が大きい可能性を示唆していると考えられる。今後は ALMA によって個別の分子ガス雲を分解することによって、相対速度分布を明らかにできればシナリオの当否が検証されると期待される。このような知見は、高赤方偏移における銀河内での星形成を理解する上でも重要な鍵を与えることになるであろう。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

X03a 円盤銀河における Kennicutt-Schmidt 則の多様性の起源

諸隈 佳菜 (国立天文台), 村岡 和幸 (大阪府立大学)

本研究は、星形成率面密度 Σ_{SFR} と全ガス (原子ガス+分子ガス) 面密度 Σ_{gas} に対して観測される相関関係 (Kennicutt-Schmidt 則, 以降 KS 則) の多様性 (sub-linear, linear, super-linear) の起源を理解することを目標としている。我々は、天の川銀河と同程度の星質量を持つ3つの近傍渦巻銀河 (NGC 3627, NGC 5055, M 83) の、 $\text{HI} \cdot \text{CO}(1-0) \cdot \text{CO}(3-2) \cdot \text{H}\alpha \cdot 24 \mu\text{m}$ のアーカイブデータを使い、 $\sim 600 - 900 \text{ pc}$ スケールでの $\Sigma_{\text{gas}} \cdot \Sigma_{\text{SFR}} \cdot \text{SFE}$ ($= \frac{\Sigma_{\text{SFR}}}{\Sigma_{\text{gas}}}$, 星形成効率) $\cdot \text{CO}(3-2)/\text{CO}(1-0)$ 比 (以降 R_{31}) の空間分布を求め、KS 則の多様性を調べた。その結果、以下を明らかにした: (1) SFE と R_{31} の空間分布は似ており、両者は相関する。また R_{31} と SFE は、銀河中心・バーエンドで高い、(2) 結果として得られる KS 則は、プロットに使用するデータの $\Sigma_{\text{gas}} - R_{31}$ 関係に依存する: R_{31} と Σ_{gas} が負の相関関係にある場合は sub-linear, R_{31} が Σ_{gas} に依存しない場合は linear, R_{31} と Σ_{gas} が正の相関関係にある場合は super-linear, (3) $\Sigma_{\text{gas}} - R_{31}$ 関係は銀河毎・銀河間で異なり、卓越した渦状腕や棒状構造を持つ銀河ほど Σ_{gas} が高く、形態が晩期型であるほど R_{31} が高い傾向にある。ここで、 $\text{CO}(3-2)$ は星形成をしている分子雲コアの周囲の分子ガス、 $\text{CO}(1-0)$ は全分子ガス (分子雲と分子雲周辺の希薄な分子ガス) をトレースすると思うと、 R_{31} は全分子ガスに対する星形成分子雲の比 (以下、星形成分子雲の割合)、と解釈することができる。つまり、今回得られた結果は、銀河における KS 則の多様性は、星形成分子雲の割合の Σ_{gas} 依存性に起因し、星形成分子雲の割合の Σ_{gas} 依存性は、銀河の大規模な構造や質量分布に依っていることを示唆している。本講演では、星間ガスの階層性を考慮に入れた KS 則についても議論する。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

X04a 円盤銀河における星の年齢速度分散関係の起源

熊本淳 (東北大学), 馬場淳一 (愛媛大学), 斉藤貴之 (東京工業大学)

太陽近傍の星々の観測から星の年齢と速度分散の間には正の相関があることが知られている(年齢速度分散関係)。この関係は星が現在の年齢に至るまでの間に重力散乱などの効果で速度分散が増加した結果を表していると考えられている。理論的研究からは巨大分子雲、渦状腕などの銀河の内部構造による重力的散乱の効果に加え、銀河同士の相互作用や合体などの外的要因の効果なども考慮し、年齢速度分散関係の理解が試みられている。しかしながら、年齢速度分散関係の起源に対しては未だに多くの議論がなされており、その詳細は未解明である。

そこで、我々は天の川銀河を想定した高分解能な N 体/SPH シミュレーションを行い年齢速度分散関係の起源を解明するための研究を行った。本シミュレーションでは、ダークマターハローと恒星系円盤を定常外場として扱い、星間ガスの自己重力、輻射冷却 ($20 \text{ K} < T < 10^8 \text{ K}$)、星形成、超新星フィードバックを考慮している。我々のシミュレーションから、太陽近傍で観測されている年齢速度分散関係が自然に再現された。

本講演では我々の解析結果を用いて、年齢速度分散関係と単純な星の速度分散の時間進化が異なることを示す。星の速度分散は (1) 星形成時に材料となるガスの速度分散、(2) 散乱源となる高密度ガスクランプの総質量に依存して多様な進化を示すことを発見した。ガスの物理状態は時々刻々と変化するため、星の速度分散の時間進化は星が形成された時刻によって振る舞いが大きく異なる。年齢速度分散関係はこれらの星々の集合をある時刻で観測した時に得られる関係である。この結果は、巨大分子雲による弱い重力散乱だけでも観測される年齢速度分散関係を十分再現可能であることを意味する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

X05a MUSCL法を用いた Godunov SPH法の高精度化

藤原隆寛, 森正夫 (筑波大学)

銀河の化学力学進化シミュレーションを実行する上では、流体の接触不連続面を正確に捉える必要がある。なぜなら、超新星爆発等により放出された重元素と星間ガスとの混合の度合いが、銀河の化学進化を考える上で非常に重要であるからである。しかし、銀河形成シミュレーションで頻繁に利用されている Smoothed Particle Hydrodynamics (SPH) 法には接触不連続面で非物理的な圧力ジャンプが生じ、その結果として流体の不安定性の成長が著しく抑制されてしまうという弱点がある。現在、この弱点を回避するための様々な手法が提案されているが、その1つに Godunov SPH 法 (GSPH, Inutsuka 2002; Cha & Whitworth 2003) がある。GSPH 法とは、粒子間相互作用の計算に Riemann 問題の厳密解を用いる方法で、圧力ジャンプを抑えられるだけでなく、通常の SPH 法で数値振動を抑えるために方程式に加えられる人工粘性項を必要としないという長所がある。

GSPH 法では、MUSCL 法を用いて補間した物理量を用いて Riemann 問題を解くことで、空間精度をより高次にできる。MUSCL 法を使用する場合、不連続面で発生する数値振動を抑えるために、流速制限関数を導入して補間される物理量に制限を付ける必要があり、Murante et al. (2011) では van Leer 型の流速制限関数が提案されている。本研究では、それに加えて、minmod 型、superbee 型、van Albada 型等の流速制限関数を実装した GSPH 法を開発した。本講演では、それらを用いて衝撃波管問題や Kelvin-Helmholtz 不安定性、点源爆発といったテスト問題を行い、その計算性能を比較した結果を報告する。さらに、これらの GSPH 法と、通常の SPH 法や Density-Independent SPH 法 (Saitoh & Makino 2013) を比較し、接触不連続面における解の振る舞いについて議論する。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

X06a 銀河形成シミュレーションによるパッシブ銀河の化学進化

岡本崇 (北海道大学), 長島雅裕 (文教大学), Cedric, G. Lacey (Durham), Carlos, S. Frenk (Durham)

観測的には銀河の金属量や化学組成は、星形成銀河に対しては輝線を用いてガスのそれが、星形成活動を行っていないパッシブ銀河に対しては吸収線を用いて星のそれが求められる。パッシブ銀河については、星質量の大きな（もしくは星の速度分散の大きな）銀河ほど、鉄に対する酸素などの α 元素の比率 (α/Fe) と金属量の両方が大きくなることが知られている。

我々は今回 Okamoto et al. (2013) のシミュレーションデータを用いて、銀河形成シミュレーションがパッシブ銀河に対して予言する星の α/Fe と速度分散の関係 ($\alpha/\text{Fe}-\sigma$ 関係) と星の金属量と星質量の関係 ($M-Z$ 関係) について調べた。その結果、AGN フィードバックを導入したシミュレーションでは重い銀河ほど早期に星形成を終えるため相対的に Ia 型超新星爆発の化学進化に対する寄与が小さくなり、大きな α/Fe を示し、観測と良く一致することが明らかになった。一方、 $M-Z$ 関係は AGN フィードバックが効く領域で、重い銀河ほど金属量が小さくなるという観測と矛盾する結果が得られた。これは、大きな銀河ほど早期に星形成を終える結果、(i) 化学進化のための時間が大きな銀河ほど短くなること、(ii) 大きな銀河ほど、ポテンシャルの深い main progenitor で形成された星よりもポテンシャルの浅い小さな銀河で形成され合体により持ち込まれる低金属量の星の割合が増えることの 2 つが原因である。Illustris simulation と EAGLE simulation という独立に行われたシミュレーションデータも解析してみたが同様な結果が得られた。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

X07a 化学進化シミュレーション用ライブラリ CELib の開発 II

斎藤貴之 (東京工業大学地球生命研究所)

水素、ヘリウムより重たい元素は恒星の進化に伴い星間空間に広がってゆく。こうして広がっていった元素は、超新星のタイプなど現象ごとに異なる組成分布をもつため銀河の形成と進化を読み解くための重要な指標となる。これまでに 2015 年秋季年会で、このような化学進化を銀河形成シミュレーションで扱うためのソフトウェアライブラリの開発について報告を行なった。今回は、前回より増えたイールドテーブルやモデルの詳細や、One-zone および 3 次元シミュレーションに用いた結果について報告する。

まず、前回報告時より大幅にイールドが増えた。Ia 型超新星爆発のイールドは 4 つの文献 (Iwamoto et al. 1999, Travaglio et al. 2004, Maeda et al. 2010, Seitzzahl et al. 2013) の 27 モデルのイールドを採用した。AGB イールドは、Karakas 2010 に加えて、Super-AGB イールド (Doherty et al. 2014)、超低金属量 AGB イールド (Campbell & Lattanzio 2008, Gil-Pons et al. 2013) を導入してより広い質量金属量範囲に対応した。初代星の IMF として、Susa et al. 2014 の図 9 を対数正規分布で近似したものを導入、あわせて Nomoto et al. 2013 の初代星イールドが利用可能になった。極超新星のイールドも選択可能になった。初代星や極超新星を考慮すると、放出されるエネルギーが通常の II 型超新星爆発により増えるため、銀河形成に大きなインパクトを与えうる。

本ライブラリを用いた One-zone および 3 次元シミュレーションから、 $[X/Fe]$ - $[Fe/H]$ 関係の観測的特徴が再現可能であること、また、初代星 IMF や極超新星を導入することで星形成史や銀河構造が影響を受けることを示す。ユーザはフラグを変更するだけで異なるイールドを用いたシミュレーションを実行できる。CELlib は以下の URL で公開する。<https://bitbucket.org/tsaitoh/celib>

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

X08a ダスト形成を考慮した孤立系銀河シミュレーションと観測量との比較

青山尚平 (大阪大学), Kuan-Chou Hou (ASIAA), 清水一紘 (大阪大学), 平下博之 (ASIAA), Keita Todoroki (Kansas U.), Jun-Hwan Choi (U. Texas, Austin), 長峯健太郎 (大阪大学)

現在の宇宙論的流体シミュレーションは様々なフィードバックモデルを導入することにより、WMAP 衛星や Planck 衛星などによる宇宙マイクロ波背景放射 (CMB) の観測から導かれた宇宙初期の密度ゆらぎから $z \sim 6$ の高赤方偏移天体の形成過程を自己整合的に解明しつつある。

高解像度銀河シミュレーションにおいて、銀河におけるダストの存在は非常に重要である。ダストは水素分子 (H_2) の生成触媒であるなど、銀河内部での星形成を理解していく上で不可欠な要素である。Hirashita (2015) では銀河のダストのサイズ分布を 2-component に簡略化して、その時間進化を accretion や coagulation, shattering, 超新星爆発起源の衝撃波による破壊の効果などを考慮して、各大きさのダストの総質量の時間進化方程式が構築された。私たちは宇宙論的流体シミュレーションにこのダストの形成過程モデルを導入した。現在のシミュレーションの分解能では個々の分子雲は分解できないため、その中で主に起こる accretion や coagulation 過程を取り扱うためにはサブグリッドモデルが必要になる。我々は超新星爆発や stellar feedback などを含めた SPH コード “GADGET3-Osaka” [Springel et al. (2005) の改良版] に近傍銀河におけるダスト-金属比の観測結果を説明できるサブグリッドモデルを実装し、ダストの空間分布の時間発展を求めた。本発表では、各銀河の specific star formation rate に注目して Mattsson & Andersen (2012b) で観測された銀河を分類し、ダストの動径方向分布について観測とシミュレーション結果の比較を行う。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

X09a **Cusp-core 問題における周期的な SN フィードバックによる重力場変動と DMH の中心密度分布の関連性**

加藤一輝, 森正夫 (筑波大学), 扇谷豪 (LMU,MPE)

本研究は cusp-core 問題を取り上げる。これは Burkert (1995) 等で報告された銀河スケールにおける cold dark matter 宇宙論の予測と観測結果の不一致である。理論計算では dark matter halo (DMH) の中心質量密度が発散する cusp 構造が予言されている (Navarro et al. 1996; Fukushige & Makino 1997)。一方、観測では中心質量密度が一定となる core 構造を持つ矮小銀河が多数発見されている (Oh et al. 2011)。これまでに super nova (SN) フィードバックに起因する銀河中心部の重力変動による DMH の cusp 構造から core 構造への遷移の可能性について、盛んに研究されてきた。Ogiya & Mori (2014) によると、重力場変動の時間スケールと DMH に与えられる力学的な影響の間には密接な関係が存在する。我々は、周期的な SN フィードバックでは cusp-core 問題が解決できないと主張した Garrison-Kimmel et al. (2013) に異なる重力場の変動時間スケールを仮定した場合、cusp-core 遷移が発生しうることを示した。

今回はこの結果を踏まえつつ、SN による力学的な注入エネルギーと DMH の中心質量密度の分布をエネルギー輸送効率という観点で線形解析と数値シミュレーションを用いて議論する。その結果、周期的なフィードバックの振動をフーリエ級数展開した際の各振動モードにおいて、エネルギー輸送を最も効率よく行うのは基音モードであるという Ogiya & Mori (2014) の主張に対し、倍音モードも重要であることを見出した。そして、注入エネルギーが同じ場合でも、個々のモードの寄与の違いにより、DMH の密度構造の進化が大きく変化し得ることを明らかにした。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

X10b ダスト・ガス二流体で解く大質量星からの輻射フィードバック

一色翔平, 岡本崇 (北海道大学), 井上昭雄 (大阪産業大学)

大質量星からの輻射フィードバックは、銀河中に存在するガスの量、ひいては銀河の星形成史を理解する上で重要である。

こうした大質量星からの輻射フィードバックは、中心光源の光度や分子雲の密度分布にもよるが、光電離によるガス圧とダストに働く輻射圧の相乗効果で引き起こされている。従来の多くの研究ではダストとガスが完全にカップルすると考え、ダストとガスをあわせて一流体として扱う近似を行っている。

故に、本研究ではダストとガスの速度差を (Laibe & Price 2014) で提唱されて近似法を用いて導出し、ダスト・ガスの二流体方程式を解いた。この時、ダスト抗力としては、衝突による抗力とダストチャージによる抗力の影響を考慮している。シミュレーションの初期条件としては、中心に光源を置き、球対称にガスとダストを分布させた。ガスの成分は H, He とした。ダストについては、 $0.1 \mu\text{m}$ のグラファイトを仮定した。また、光源のスペクトルとしては PEGASE.2 から得た星団のものを使用した。

数値シミュレーションの結果、中心光源によって重力的に束縛された光源付近のガスは分離しているが、光源からの輻射によって形成された衝撃波面ではダストとガスはカップルし、ダスト・ガスの二流体として扱った影響は見られなかった。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

X11b 宇宙論的シミュレーションで探る Milky Way-mass galaxy の形成過程

畑千香子, 岡本崇 (北海道大学)

宇宙論的流体力学シミュレーションを用いて天の川銀河サイズの銀河の形成過程について調べている。円盤銀河形成の標準的なシナリオは、銀河中心部のバルジが高赤方偏移で形成された後、その周囲に円盤が内側から徐々に形成されるという inside-out シナリオである (Mo et al. 1998)。一方観測的には天の川銀河サイズの銀河の祖先とみられる銀河は $z \sim 2.5$ から $z \sim 1$ までの間、中心部も外縁部も同じ割合で質量を獲得するという自己相似的な成長をすることが示唆されている (van Dokkum et al. 2013)。この結果は上記の inside-out シナリオに矛盾している。本研究の目的は、この自己相似的な成長を再現するような物理過程を調べ、このような成長がどのようにして実現されているのかを明らかにすることである。そのため、Adaptive Mesh Refinement (AMR) コードである RAMSES (Teyssier 2002) を使い、大質量星からの輻射や超新星爆発、恒星風などの物理過程を実装した銀河形成シミュレーションを行い、 Λ CDM モデルで自己相似的な成長が再現できるのかどうかを調べている。本講演ではこの結果について報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

X12a 赤方偏移 2 における Ly α 光度関数の明るい側と暗い側への強い制限

今野彰, 大内正己 (東京大学), 中島王彦 (ジュネーブ天文台), Florent Duval, 日下部晴香, 小野宜昭, 嶋作一大 (東京大学)

Ly α 輝線銀河 (LAE) の Ly α 光度関数 (LF) は高赤方偏移銀河の性質や進化を理解する上で重要な観測の一つである。特に Ly α LF の暗い側では小質量銀河の星形成活動などを、明るい側では AGN や大質量銀河の存在量を調べることができると考えられている。これまでの研究でも LAE 大規模探査が行われてきたが、検出された LAE の Ly α 光度範囲と天体数が不十分であったため、Ly α LF の明るい側と暗い側に強い制限を同時に与えるまでには至らなかった。これらを精度良く求めるには、Ly α 輝線を可視光で観測できる赤方偏移で最も低い $z \sim 2$ の LAE を探査するのが適当である。我々は、狭帯域フィルター NB387 をすばる主焦点カメラに搭載し、合計 $\sim 1.4 \text{ deg}^2$ の天域を深撮像観測することで、大規模な $z = 2.2$ LAE サンプルを構築した。その結果、 $\log L(\text{Ly}\alpha) = 41.7 - 44.4 \text{ erg s}^{-1}$ の Ly α 光度範囲で $z = 2.2$ LAE を 3137 天体検出した。これらの Ly α 光度範囲と天体数は、これまでの $z \sim 2$ LAE 研究と比べて 1 桁以上大きい。この大規模サンプルを用いて我々は $z = 2.2$ Ly α LF を高い精度で求め、何の仮定も置かずにシェヒター関数でフィットすることで、Ly α LF の暗い側の傾きに対して $\alpha = -1.75^{+0.10}_{-0.09}$ という強い制限が得られた。また我々は $z = 2.2$ Ly α LF の明るい側で、シェヒター関数からの個数密度の超過が存在することを確認した。さらに本研究とこれまでの研究をもとに $z = 0 - 8$ での Ly α 脱出率を計算することで、 $z = 0$ から 6 にかけて Ly α 脱出率が 2 桁ほど急激に増加していることを示した。本講演では、 $z = 2.2$ Ly α LF の暗い側での傾きと明るい側での個数密度超過、 $z = 0$ から 6 での Ly α 脱出率の進化の物理的メカニズムについて議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

X13a 直接温度法で探る $z \sim 2$ 星形成銀河の星間物質進化

小島崇史, 大内正己, 澁谷隆俊, 播金優一, 小野宜昭 (東京大学), 中島王彦 (ESO)

BPT ダイアグラム ($[\text{O III}]/\text{H}\beta$ 対 $[\text{N II}]/\text{H}\alpha$ 図) 上の星形成銀河の分布は、 $z = 0$ と $z = 2$ で異なることが知られている (BPT オフセット)。この BPT オフセットは星間物質の性質の進化を示唆しており、 $z = 0 - 2$ でどのような進化があったのかを明らかにすることは喫緊の課題である。現在、ガス重元素量 (O/H) に対する窒素・酸素組成比 (N/O) または電離パラメータの増加が最も有力とされているが、いまだに決定的な結論には至っていない。決定的な結論を得るためには直接温度法による測定が必要不可欠であるが、直接温度法で使われる $[\text{O III}]1665/[\text{O III}]4363$ 輝線は微弱であるため、これまで $z \sim 2$ 銀河への直接温度法の適応は難しいものと考えられてきた。

そこで本研究は、初めて 11 個もの $z \sim 2$ 銀河に対して直接温度法による測定をし、 $z \sim 2$ における N/O の増加と電離パラメータの増加の可能性を議論した。我々は $z = 2.16$ の銀河に対して Keck/LRIS による分光観測を行い、1 個の銀河に対して 6.8σ で $[\text{O III}]1665$ を検出した。さらに、重力レンズで増光された銀河を中心に徹底的な文献調査を行い、 $[\text{O III}]1665$ または $[\text{O III}]4363$ の検出された 10 個の $z \sim 2$ 銀河を選び出した。これら合わせて 11 個の $z \sim 2$ 銀河は、 N/O に平均して 0.15 dex 以上の増加がないことを示しており、少なくとも N/O の増加だけでは BPT オフセットを説明できなかった。さらに、複数の $z \sim 2$ 銀河が電離パラメータの超過を示しており、この電離パラメータの超過が BPT オフセットに寄与していると考えられる。講演では、今回得られた結果の物理的解釈について、詳細な議論を展開する。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

X14a 近赤外線分光観測で探る $z \sim 3.23$ の [OIII] 輝線銀河の物理状態

鈴木智子, 児玉忠恭 (総研大/国立天文台), 但木謙一 (MPE), 林将央 (国立天文台), 小山佑世, 田中 竜, 美濃和陽典 (すばる望遠鏡), 利川潤 (国立天文台), 嶋川里澄, 山元萌黄 (総研大/国立天文台), David Sobral (Lancaster Univ.), Ian Smail (Durham Univ.), Philip Best (Edinburgh Univ.)

赤方偏移 $z \sim 3-3.7$ の時代は、銀河形成の最盛期と言われる $z \sim 2$ から更に 10-20 億年遡った時代に相当し、最盛期に向けて銀河の星形成活動がどのようにして活発になっていったのかを理解する上で非常に重要な時代であると言える。 $z > 3$ の星形成銀河のサンプルはこれまで主に紫外線を指標として構築されてきたが、近年挟帯域フィルターを用いた撮像観測 (e.g. Mahalo-Subaru; HiZELS) を通して $z > 3$ の [OIII] 輝線銀河のサンプルが構築されつつある。遠方の星形成銀河は一般に強い [OIII] 輝線を示す傾向にあり、また紫外線よりも波長が長くダスト減光に強いことなどから、[OIII] 輝線は遠方の星形成銀河の指標となり得ると期待され、紫外線セレクトの銀河に加えて [OIII] 輝線銀河の諸物理量を調べていくことで、 $z > 3$ における銀河形成をより正しく理解することができる。本研究では、COSMOS 領域で見つかった [OIII] 輝線銀河の密度超過領域に着目し、その領域に存在する 10 個の [OIII] 輝線銀河候補天体に対して Keck/MOSFIRE を用いて H , K バンドの分光観測を行った。ターゲットの輝線銀河は全て $z \sim 3.22-3.28$ の範囲にあると同定された。星質量と [OIII]/ $H\beta$ 比との間にある関係を調べたところ、我々のサンプルは同じ質量を持つ近傍の星形成銀河よりも高い [OIII]/ $H\beta$ 比を示し、さらに、先行研究の一般フィールドの $z > 3$ の星形成銀河サンプルと比較すると各サンプルの間に大きな違いは見られないことが分かった。本講演では、分光観測から明らかになった $z \sim 3.23$ の [OIII] 輝線銀河の物理状態について報告するとともに、同時代の異なる環境下に存在する銀河サンプルとの比較の結果を報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

X15a **ALMA Demographics of [CII]158um and Dust Emission in Star-Forming Galaxies at $z \sim 5 - 9$**

藤本征史、大内正己、小野宜昭、澁谷隆俊、播金優一、石垣真史、河野孝太郎、田村陽一、嶋作一大(東京大学)、平下博之(ASIAA)、Andrea Ferarra(SNS)、永井洋、中西康一郎、伊王野大介(国立天文台)、百瀬莉恵子(NTHU)、Richard Ellis、中島王彦(ESO)、橋本拓也(リヨン天文台)、五十嵐創(フローニンゲン大)

We present statistics of [CII]158um-line and dust-continuum emission for star-forming galaxies at $z \sim 5 - 9$. Our samples for the [CII] and dust-continuum emission analysis are composed of 25 and 81 galaxies, respectively, which are made by the combination of our ALMA Band6/7 observations and the archival data. We obtain the $L_{\text{[CII]}} - \text{SFR}$ relation that includes the stacking of no detection data, and find that the stack of $z \sim 5-7$ Lyman alpha emitters places a stringent upper limit in $L_{\text{[CII]}}$ suggesting a very low metallicity ($Z = 0.05Z_{\odot}$). We evaluate the infrared-to-UV luminosity ratio, IRX ($\equiv L_{\text{IR}}/L_{\text{UV}}$), as a function of UV-continuum slope beta. The IRX-beta plot indicates that the average IRX of $z \sim 5 - 9$ galaxies is smaller than the IRX-beta relation predicted by the SMC extinction law. These results suggest that ALMA [CII] and dust-continuum emission in $z \sim 5 - 9$ galaxies are systematically weaker than star-forming galaxies at low redshifts. We compare these ALMA emission properties with theoretical models, and discuss the physical origins of the weak ALMA emission.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

X16a 重力レンズを利用した $z \gtrsim 6$ の銀河のサイズ測定と得られる物理的描像

川俣良太, 石垣真史, 嶋作一大, 大栗真宗, 大内正己 (東京大学)

我々は、 $z \gtrsim 6$ の形成期の銀河の性質を解き明かすことを目的として、特に銀河サイズに着目して研究を進めてきた。銀河のサイズは、ディスクの質量や角運動量と直接関係しているため、銀河の光度や色と相補的な情報をもたらすからである。我々はこれまでの研究で、6つある Hubble Frontier Fields (HFF; PI: J. Lotz) 銀河団のうち、最初に観測が完了した1つ目の銀河団のデータを用いて、 $z \sim 6-8$ の銀河のサイズを測定し、既存の研究 (Ono et al. 2013) からサンプルを倍増させた。HFF は、銀河団による強い重力レンズ効果と HST による深い撮像を組み合わせた高赤方偏移銀河探索プロジェクトである。今回はこのサンプルに基づいて、サイズ-光度関係には分散が大きいことや、サイズと色に相関があることを議論した (2014 年春季年会 X15b 参照)。しかし、統計量が十分ではないために、定性的な議論にとどまっていた。

今回は、新たに観測が完了した3つの銀河団のデータを追加してサイズ測定を行った。サイズが測定された銀河の数は、前回の発表に比べ、 $z \sim 6-7$ で40から約200、 $z \sim 8$ で14から約50と大幅に増加した。さらに、20個ほどの $z \sim 9$ の銀河のサイズも測定した。このサンプルから求めた $z \gtrsim 6$ のサイズ-光度関係の傾きは、feedback を仮定して解析的に銀河サイズと光度をべき関数で結びつけた簡単なモデルで予想される傾きよりも、急であることが初めてわかった。この傾きは、 $M_* - M_h$ 関係を介して feedback と関係しているため、分光観測の難しい $z \gtrsim 6$ の銀河における feedback に制限を与える有用な指標となる可能性がある。また、ディスクとハロー間での角運動量輸送もこの傾きを変化させる要因の1つである。本講演では、簡単な解析的モデルとの比較やサイズ-等級関係上での銀河の色の分布をもとに、feedback などの傾きを急にする要因について定量的に議論する。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

X17a **SXDF-ALMA 2-arcmin² Deep Survey: 1.1-mm number counts**

廿日出文洋 (国立天文台), 河野孝太郎, 梅畑豪紀 (東京大学), Itziar Aretxaga (INAOE), Karina Caputi, 五十嵐創 (Univ. of Groningen), James Dunlop (Univ. of Edinburgh), 伊王野大介, Minju Lee, 松田有一, 中西康一郎 (国立天文台), Rob Ivison (ESO), 本原顕太郎, 田村陽一, 山口裕貴 (東京大学), 真喜屋龍 (IPMU), 太田耕司 (京都大学), 但木謙一 (MPE), Wei-Hao Wang (ASIAA), Grant Wilson, Min Yun (Univ. of Massachusetts)

ミリ波・サブミリ波深探査により、ダストに覆われ活発な星形成活動を行う遠方銀河が検出されてきた。ミリ波・サブミリ波でのナンバーカウントの導出は、宇宙におけるダストに隠された星形成活動、銀河の形成・進化、遠赤外からミリ波帯での宇宙背景光の起源を探る上で重要である。ALMA の登場により、ナンバーカウントの研究は飛躍的に進んだ。しかし、既存の研究では、別の目的で観測されたデータの中に偶然に検出された暗いソースを利用してナンバーカウントを作成しているため、バイアスがある可能性が指摘されている。この問題を解決するためには、バイアスが無く、連続的な領域の観測データを用いることが必要である。

我々は、ALMA を用いて SXDF における連続した 2 平方分を波長 1.1mm で観測し、検出された 23 個のソース ($\geq 4\sigma$) を用いてナンバーカウントを作成した (フラックス範囲 0.2–2.0 mJy)。過去の ALMA による研究結果と比較すると、誤差の範囲で無矛盾であることが分かった。得られたナンバーカウントを用いて 1.1mm ソースの宇宙背景光への寄与を求めたところ、フラックス > 0.2 mJy ではおよそ 40%であった。今回の結果は、偶然に検出されたソースを用いる方法には有意なバイアスは無いことを示唆するが、観測領域の選定やその領域の狭さに起因する field-to-field variation の影響も考えられるため、今後より広い領域の探査が必要である。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

X18a SXDF-ALMA 2 arcmin² Deep Survey のデータを用いた無バイアスミリ波分子輝線銀河探査

山口裕貴, 田村陽一, 河野孝太郎 (東京大学)

近年の観測により, 宇宙の星形成率密度の変遷が明らかになりつつある. 次なるステップとして, その進化の原因を探るためには, 宇宙の分子ガス質量密度を制限する必要がある. ところが, これまでの分子ガス輝線探査の多くは, 可視光や赤外線などで選択された銀河にバイアスしているという問題があった. 本研究では, ALMA による SXDF 領域の掃天観測 (観測波長 1.1 mm, 探査面積 2 arcmin², $1\sigma = 0.048\text{--}0.061$ mJy beam⁻¹) のデータを用いて, 無バイアスなミリ波分子輝線探査を行った. 周波数幅 60 MHz で作成した 3 次元データキューブは, $1\sigma = 0.45\text{--}0.70$ mJy beam⁻¹ を達成している. このデータキューブに対して, CLUMPFIND を用いた天体抽出を行ったところ, 観測周波数 273.29 GHz に輝線天体候補 ($S_{\text{peak}} = 3.8 \pm 0.7$ mJy, $S\Delta V = 0.53 \pm 0.08$ Jy km s⁻¹, FWHM = 100 km s⁻¹) を検出した. この周波数帯で明るい輝線としては, CO 輝線と高赤方偏移の [CII] 158 μm 輝線が考えられる. この輝線天体の付近には対応天体候補が確認された. 可視光-近赤外線 SED フィットによって求められた測光赤方偏移 ($z_{\text{photo}} = 0.97^{+0.13}_{-0.40}$) は, 検出された輝線が $z = 0.687$ の CO(4-3) 輝線である可能性が高いことを示している. 求められた輝線天体の分子ガス質量比 [$f_{\text{gas}} = M_{\text{gas}}/(M_{*} + M_{\text{gas}}) = 0.97, 0.69$; それぞれ M82 と銀河系の CO(4-3)/CO(1-0) 輝線比および, CO-H₂ 換算係数を仮定した場合] は, 同じ時代の星形成銀河の値 ($f_{\text{gas}} \simeq 0.2\text{--}0.4$) よりも高い値になっている. これらの結果は, 今回の ALMA を用いた無バイアスミリ波輝線銀河探査によって, 従来の探査では見逃されてきた種族の天体が検出されたことを示唆している. 本研究で検出された天体は 1 つだが, CO 輝線光度関数に与える制限は準解析的モデルに矛盾しないことが示された.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

X19b ALMA cycle 2 サーベイデータを用いた $z = 6$ [CII] 輝線銀河探査

早津夏己 (東京大学), ALMA Deep Field in SSA22 team

本講演では, ALMA Cycle 2 の 1.1mm サーベイデータ (ADF22) を用いた, $z = 6$ [CII] 158 μm 輝線銀河探査について紹介する。探査の目的は, $z = 6$ の [CII] 輝線光度関数に世界で初めて制限を与え, 遠方星形成史の進化を考察することである。今回使用している ADF22 データはこれまで ALMA で得られたサーベイデータの中でも, 最高品質のものである。このデータの観測面積は 5 平方分角, 空間分解能は 0.6 秒角, 深さは 100 km s^{-1} 速度分解能で $\text{RMS} = 0.5 \text{ mJy beam}^{-1}$ に達している。

解析の結果, 探査体積 2200 comoving Mpc^3 の中で 6σ 以上の [CII] 輝線銀河候補を 2 個検出することに成功した。これらの候補は, 全て可視光の観測で非検出で, ダスト連続光も非検出であった。この結果から, $z = 6$ の [CII] 輝線銀河の数密度を求め, 星形成率密度の下限値をつけると, 紫外線から見積もられた値とすでに同程度となった。この結果は, 今後の観測でより暗い [CII] 輝線銀河の寄与を加えれば, 星形成率密度がこれまでに考えていたよりも大きくなる可能性を示唆している。

現行の見積もりでは, 検出限界以下の暗い [CII] 輝線銀河の寄与は外挿せず, 下限値としたが, 遠方 [CII] 輝線銀河の光度分布がわかれば, 実際に紫外線からの見積もりより大きいかを検証できる。講演では, ノイズに埋もれた暗い [CII] 輝線銀河の寄与も統計的に考慮した場合の星形成率密度の見積もりや, 紫外線でもダスト連続光でも暗い [CII] 輝線銀河の放射メカニズムについても議論したい。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

X20b 赤方偏移 $z \sim 0.9$ の [OII] 輝線銀河の色と星質量、赤外線光度

村田一心、中川貴雄、松原英雄、和田武彦、山下拓時、小山舜平 (宇宙科学研究所)

赤方偏移 $z \sim 0.9$ の [OII] 輝線銀河の性質を調べたところ、赤外線で選択した銀河と比べ、軽く、青い傾向があることがわかった。一方、[OII]3727 の光度から求めた星形成率は、平均的には赤外線から求めた星形成率と一致することがわかった。

[OII] 輝線は $z < 1.7$ までは可視光で、 $z < 6$ までは近赤外線地上から観測できるため、今後の遠方銀河サーベイに頻りに利用されることが考えられる。そこで本研究では、[OII] 輝線によって選択された銀河の性質を調べることにした。本研究では「あかり」北黄極領域における、すばる S-Cam の狭帯域フィルター、NB711 による観測データを用いて、 $z \sim 0.9$ の [OII] 輝線銀河を 153 天体同定した。その際、ゴーストの影響による偽天体は視覚的に取り除き、 V, R_c, i' バンドによる 2 色図を用いて $z \sim 0.9$ の [OII] 輝線銀河を同定した。星質量 vs B-V の図を作成し、[OII] 輝線銀河を北黄極領域における「あかり」で選択した銀河と比べると、[OII] 輝線銀河の方が青く、軽い傾向があることがわかった。一方、重い銀河ほど [OII] 輝線の等価幅が小さいことがわかった。さらに、[OII] 光度が高い銀河について「あかり」と *Herschel*/PACS の画像をスタッキングし、赤外線光度を求めたところ、赤外線光度から推定される星形成率は、[OII] 光度から求めた星形成率とよく一致した。これらの結果は次の 3 つを示唆する。1.) [OII] 輝線銀河はダスト減光の小さいものが選択的に観測されるために青い傾向がある。2.) 狭帯域フィルターで選択される銀河は等価幅の大きなもの限定されるため、軽い銀河を選択しやすい。3.) ダスト減光が小さい銀河であっても、ある程度の赤外線を放つ。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

X21b

SSA22 原始銀河団領域における広範囲に渡る中性水素ガス密度超過

馬渡健 (大阪産業大学), 井上昭雄 (大阪産業大学), 山田亨 (JAXA) 他

銀河形成を考える上で銀河周辺物質を詳細に調べることは重要である。近年、分光スペクトルを用いて銀河間中性水素による吸収強度を定量化し空間分布を調べる研究が行われている (Lee et al. 2014, 2015 など) が、高空間分解能で探査しようとするより暗い背景天体の分光を行わなければならない膨大な観測時間を要してしまう。そこで我々はすばる望遠鏡 SuprimeCam の狭帯域フィルター NB497 を使って撮像的に中性水素による吸収強度を定量化する手法を開発し、原始銀河団を含む 3 領域 (SSA22、SXDS、GOODS-N 領域) で赤方偏移 3.1 の中性水素ガスの吸収強度および空間分布を調べた。解析の結果、顕著な原始銀河団領域を含む SSA22 領域では一般領域に比べて有意に中性水素吸収が強いということを見出した。一方で赤方偏移 3.1 の Lyman α emitter (LAE) の密度超過の関数として中性水素吸収強度を調べたところ、相関がみられなかった。最も近傍の LAE からの距離と中性水素吸収強度の間にも目立った相関はなかった。本講演では、我々の新手法の有効性を示すとともに得られた結果の解釈について議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

X22a 近傍の星形成銀河における分子ガスの性質と銀河環境の関係

小山舜平 (東京工業大学, ISAS/JAXA), 小山佑世 (国立天文台), 山下拓時, 松原英雄, 中川貴雄 (ISAS/JAXA), 児玉忠恭, 諸隈佳菜, 嶋川里澄, 林将央 (国立天文台)

銀河の個数密度が高い環境であるほどその領域での渦巻銀河の割合が減少し楕円銀河の割合が増加するように、銀河の存在する密度環境は銀河進化に大きな影響を与えている。しかし、銀河進化の密度環境依存性（環境効果）の起源は未だ解明されていない。近年の研究によると、星形成銀河の主系列とよばれる『星形成率－星質量関係』に環境依存性が見られないことなどから、星形成銀河への銀河環境の影響は小さいと考えられている。しかし銀河進化への環境効果を本質的に理解するためには、星質量、星形成率だけでなく、星形成の材料となる分子ガスの性質も含めた包括的な議論が不可欠である。そこで我々は環境効果の起源として分子ガスへの影響に着目し、近傍の星形成銀河の分子ガスと星形成活動の関係の密度環境依存性を調査した。ここで、密度環境はSDSSによる銀河カタログを用いて定義し、銀河の分子ガス質量の推定には、SDSSから選択した幅広い密度環境にある星形成銀河の野辺山45mによるCO(1-0)観測と、IRAM30mによる近傍銀河のCOサーベイであるCOLDGASSの文献データとを合わせて使用した。結果として、分子ガス質量と星形成率の関係には密度環境依存性が見られなかったが、分子ガス質量比（分子ガス質量/分子ガス質量+星質量）は高密度環境ほどわずかに小さい値を示す傾向が見られた。これは、星形成の効率には密度環境の影響がない一方で、分子ガスそのものは密度環境の影響を受けている可能性を示唆している。本講演では、これら結果について議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

X23a **すばる望遠鏡 HSC で探る銀河団銀河の星形成史： $z \sim 1$ におけるパイロットスタディ**

山元萌黄 (総合研究大学院大学)、児玉忠恭、林将央、利川潤、小山佑世、田中壘 (国立天文台)、但木謙一 (MPE)、嶋川里澄、鈴木智子 (総合研究大学院大学)

$z \sim 1$ 以上の遠方銀河団はまだ希少であり、銀河が暗いため詳細な研究も困難なことから、遠方銀河団の銀河種族の性質を統計的に調べた研究は稀である。そこで新たな原始銀河団探査として、HSCのすばる戦略枠観測を利用し、さらに2つの原始銀河団探査法を組み合わせ、HSC-HSC (Hybrid Search for Clusters with HSC) を現在推進している。2つの原始銀河団探査法とは、星形成銀河の放つ輝線を3枚の狭帯域フィルターで捉え、星形成銀河を探査する「blue cloud サーベイ」と、広帯域フィルターを用いて、銀河団銀河特有の色等級図における赤色の系列を用いて、星形成を終了した銀河を中心に探査する「red sequence サーベイ」であり、それぞれの銀河の密度超過領域を探り、原始銀河団を発見する。このサーベイの初期段階としてまず COSMOS フィールド上の HSC 一視野分の領域において Red sequence サーベイを行い、21個の領域を $z \sim 1$ の銀河団または銀河群の候補天体として同定した。さらに候補天体のスタッキング解析と一般領域による前景背景銀河の統計的な差し引きを行い、初めて $z \sim 1$ において、銀河団中心領域の青い銀河の割合を統計的に求めた。これは $z=0.81$ の銀河団で測られていた青い銀河の割合 (van Dokkum et al. 2000) とほぼ同じ値であり、近傍の銀河団の値と比較すると全体として赤方偏移の増大にしたがってゆるやかに増加している傾向が見られ、ブッチャー・エムラー効果の傾向が $z \sim 1$ まで延長しているとも解釈できる結果であった。現在 red sequence サーベイにより、上記の他赤方偏移や他領域の銀河団候補も発見されており、また blue cloud サーベイも組み合わせることで、さらに統計精度を上げて議論していく。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

X24a ハーシェル宇宙望遠鏡で探る $z = 2 - 3$ 原始銀河団の星形成活動

加藤裕太 (東京大学), 松田有一, 廿日出文洋, 斎藤智樹, 伊王野大介, 久保真理子 (国立天文台), 田中亮 (国立天文台ハワイ観測所), 梅畑豪紀, 田村陽一, 河野孝太郎 (東京大学), 山田亨, 林野友紀 (東北大学), Ian Smail, Mark Swinbank, David Alexander (ダーラム大学), James Geach (ハートフォードシャー大学), Bret Lehmer (ジョンズ・ホプキンス大学), Dawn Erb (アーカンソー大学), Charles Steidel (カリフォルニア工科大学)

原始銀河団は遠方宇宙に見つかる銀河の高密度領域である。原始銀河団では銀河の衝突や合体を要因として爆発的星形成銀河が集中的に見つかる予測されてきた。我々は原始銀河団、2QZCluster、HS1700、SSA22 (赤方偏移 2.23、2.30、3.09) において爆発的星形成銀河の探査を行った。天体選択ではハーシェル宇宙望遠鏡に搭載されている SPIRE カメラの色 (S_{350}/S_{250} と S_{500}/S_{350}) が、それぞれの原始銀河団の赤方偏移でのダスト温度 30-40 K の修正黒体輻射と矛盾しない $250 \mu\text{m}$ ソースを選び出した。その結果、2QZCluster では、6 つの爆発的星形成銀河からなる 4σ の高密度領域を、原始銀河団銀河である $\text{H}\alpha$ 輝線銀河の数密度中心から約 2 Mpc 離れた位置で、HS1700 では、8 つの爆発的星形成銀河からなる 5σ の高密度領域を、原始銀河団銀河であるライマンブレイク銀河の数密度中心から約 1 Mpc 離れた位置で発見した。SSA22 においては、 $250 \mu\text{m}$ ソースの優位な高密度領域を発見できなかったが、3 つの $500 \mu\text{m}$ ソースが、原始銀河団銀河である $\text{Ly}\alpha$ 輝線銀河の数密度中心から約 1.5 Mpc 離れた位置で集まっていることを発見した。これらの爆発的星形成銀河がそれぞれの原始銀河団に付随していた場合、その星形成率密度は同じ時代の平均的な値とくらべて一千倍から一万倍高いことが分かったが、正確な赤方偏移や、爆発的星形成の要因を探るためには、分子輝線などを用いた分光観測が必要である。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

X25a 赤方偏移 2.5 の原始銀河団における小質量の爆発的星形成銀河

林将央, 児玉忠恭, 田中巻, 小山佑世 (国立天文台), 但木謙一 (MPE), 嶋川里澄, 鈴木智子, 山元萌黄 (総合研究大学院大学)

星形成銀河には星形成率と星質量に強い正の相関があり、この相関関係は星形成銀河の main sequence (MS) と呼ばれる。大部分の星形成銀河は MS 上に位置し、MS から逸脱した銀河は爆発的な星形成を行っているか、または、星形成活動が弱まっていると考えられる。近傍宇宙のみならず、赤方偏移が 3 を越えるような遠方宇宙においても、各時代で MS が形成されていることが分かっている。また、これまでの研究では、銀河が存在する環境への強い依存性も見られず、高密度領域の星形成銀河もフィールド領域の星形成銀河と同様の MS 上に位置することも分かってきた。したがって、銀河進化を理解する上で、星形成銀河の MS を調べることは重要である。

我々は、赤方偏移 2.53 の原始銀河団において、すばる望遠鏡の MOIRCS を用いて、約 10 時間にも及ぶ狭帯域フィルター撮像観測を行った。その結果、約 39 平方分の領域に 100 個の H α 輝線銀河を選び出すことに成功した。この非常に深いデータのおかげで、星形成率が約 3 太陽質量/年、星質量が約 10^8 太陽質量の H α 輝線銀河まで探査可能である。先行研究では約 10^{10} 太陽質量の星形成銀河までしか調べられておらず、本研究で初めて、赤方偏移 2.5 付近の高密度領域に存在する小質量銀河の星形成活動が明らかになった。本講演では、星形成銀河の MS に着目して、銀河団銀河の星形成活動およびその進化について議論する。本研究の最も興味深い結果は、 $10^{9.3}$ 太陽質量より質量の小さな銀河に、この時代の MS から星形成率が高いほうに逸脱した星形成銀河が数多く存在することを発見したことである。一方で、 $10^{9.3}$ 太陽質量より質量の大きな星形成銀河は、環境によらず同一の MS に位置する。したがって、この原始銀河団の小質量銀河は若く爆発的に星形成活動を行っていると考えられる。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

X26a **A protocluster at $z = 2.5$ II. ISM properties revealed by ALMA**

Minju Lee, 川邊良平 (東京大学/国立天文台), 河野孝太郎, 田村陽一, 梅畑豪紀, 齊藤俊貴 (東京大学), 兒玉忠恭, 田中壘, 伊王野大介, 中西康一郎, 廿日出文洋 (国立天文台), 但木謙一 (MPE)

Followed by the talk presented in ASJ2014b that reported early results from a deep JVLA observation at 10 cm, we present our recent results obtained by ALMA (1.1 mm continuum and CO(3-2)) toward a protocluster at $z = 2.5$, 4C23.56. Revealing properties of protocluster members is crucial in understanding structural formation as well as the galaxy evolution under the certain circumstance of overdensity in the early Universe. Our target field 4C23.56 was identified with overdensities of HAEs that are detected by narrow band filter technique with Subaru (total number of 25), and the follow-up SMGs survey with ASTE/AzTEC at 1.1 mm revealed some overlaps with them but with coarse resolution ($\sim 30''$). Our high resolution ($0''.7$) imaging at 1.1 mm with ALMA has allowed direct counterpart searching with the line emitters and we confirm 4 HAEs with 1.1 mm continuum detection among 19, above 3-sigma ($=0.3$ mJy), while for CO(3-2) with , we detect seven (out of 22 targeted) HAEs confirming the redshift of them at $z=2.482-2.488$. We estimate the ISM mass fraction (f_{gas}) and star formation efficiency (SFE) with the help of stellar mass and SFR estimation in the shorter wavelengths, and we find relatively low f_{gas} ($\sim 25\%$) but high SFE ($\tau_{\text{depl.}} \sim 100$ Myr) for detections. We discuss that these would be the results perhaps due to the enhanced merger events at such overdense region, provided their disturbed morphologies and the kinematics.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

X27a **HSC すばる戦略枠観測サーベイによる多重クェーサー系周囲の環境調査**

尾上匡房 (総合研究大学院大学), 柏川伸成, 利川潤, 田中賢幸, 松岡良樹 (国立天文台), 内山久和 (総合研究大学院大学), 秋山正幸 (東北大学), 鳥羽儀樹 (ASIAA), 長尾透 (愛媛大学), Michael Strauss (プリンストン大学)

クェーサーは豊富なガスを持つ銀河同士の合体によって発現すると考えられているため、階層的銀河進化シナリオの枠組みの下で高密度環境の優れた指標になるとされてきた。しかし近年この命題が必ずしも自明でないことを示唆する観測的、理論的な研究結果が多数報告されておりクェーサー環境をめぐる議論は複雑化している。我々はクェーサー環境の特異性と多様性を解明するため複数のクェーサーが同一ハロー中に発現している多重クェーサー系に注目し、HSC すばる戦略枠観測 (HSC-SSP) サーベイにおいて多重クェーサー系周囲の銀河密集度を調査するプロジェクトを開始した。多重クェーサー系は単独に存在するクェーサーと比べてより極端な高密度環境の指標になる可能性があるが、非常に稀であるために周囲の環境の性質についてはほとんど知られていないのが現状である。

我々は各赤方偏移 ($z < 4$) での最大の原始銀河団サイズ以下の距離に複数のクェーサーが存在する系を多重クェーサーと定義し、現在公開されている最新の HSC-SSP S15B データリリースカタログ (約 100 平方度) を基に二組の $z \sim 4$ クェーサー対周囲の g -dropout 天体密度を測定した結果、一つの近接した $z \sim 3.6$ クェーサー対周囲に巨大な原始銀河団候補を発見した。これは高赤方偏移における近接多重クェーサー環境の特異性を示唆する結果である。講演では、測光赤方偏移を用いて数百の低赤方偏移 ($z < 2$) 多重クェーサー環境を調べた結果や高密度領域に付随する多重クェーサーの特徴、そして単独クェーサー環境との比較などについても議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

X28a 赤方偏移7のUV光で明るい星形成銀河のLy α 輝線率の研究

古澤久徳, 柏川伸成 (国立天文台), 小林正和 (呉工専), James Dunlop (エジンバラ大), 嶋作一大 (東大), 高田唯史, 関口和寛 (国立天文台), 内藤嘉章 (東大), 古澤順子 (国立天文台), 大内正己 (東大), 仲田史明 (国立天文台), 安田直樹 (東大), 大倉悠貴 (理研), 谷口義明 (放送大), 山田亨 (JAXA), 鍛冶澤賢 (愛媛大), Johan Fynbo (コペンハーゲン大), Olivier Le Fevre (LAM)

我々は2つの近赤外撮像サーベイである UltraVISTA、UKIDSS-UDS のデータとすばる望遠鏡 Suprime-Cam による非常に深い z バンド撮像サーベイを組み合わせ、1.65 平方度に渡って $z = 7$ のライマンブレイク銀河 (LBG) 候補 ($J = 25.5; 5\sigma$) を探索した。その結果 24 個の LBG 候補が見つかり、うち 18 個は静止系 UV 光で非常に明るい ($M_{UV} < -21.75$) 星形成銀河だった。次に、UV 光で明るい LBG 候補 9 個に対してすばる望遠鏡 FOCAS による分光観測を行ったところ、1 個から $z = 7.168$ の Ly α とされる輝線 ($S/N \sim 5.5$) を検出した。この銀河の等級は $M_{UV} = -22.3 \pm 0.2$ と明るく、Ly α 等価幅は $EW_0 = 3.7^{+1.7}_{-1.1} \text{ \AA}$ だった。一方で、各天体とも 1.3–6 時間の積分を行ったが、その他 8 個の天体からは有意な輝線検出は得られなかった。分光 9 天体の 2 次元スペクトルのノイズ解析から、UV 光で非常に明るい LBG ($-23 < M_{UV} < -21.75$) の $z = 7$ の Ly α 輝線率 $X_{Ly\alpha}^{50}$ ($EW_0 > 50 \text{ \AA}$) の上限値は 0.23 以下 (1σ) と見積られた。UV 光が非常に明るい銀河の $X_{Ly\alpha}^{50}$ は、 $z = 3.5 - 6$ で急激に増加するが、 $z = 6 - 7$ では低赤方偏移と比べて同定度以下となることが分かった。さらに、今回の観測結果を Ly α 等価幅の積算確率分布関数として宇宙再電離の理論モデルと比較したところ、この時代の水素ガス中性度は 0.7 かそれ以上程度であるとの推論が得られた。より強い制限のためにはさらなる分光サンプルの追加が必要である。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

X29a 赤方偏移 $z = 7.2$ ライマン α 輝線銀河の遠赤外線 [O III] $88 \mu\text{m}$ 輝線の検出

井上昭雄 (大阪産業大学), 田村陽一 (東京大学), 松尾宏 (国立天文台), 馬渡健 (大阪産業大学), 清水一紘 (大阪大学), 澁谷隆俊 (東京大学), 太田一陽 (ケンブリッジ大学), 吉田直紀 (東京大学), Erik Zackrisson (ウプサラ大学), 柏川伸成 (国立天文台), 河野孝太郎 (東京大学), 梅畑豪紀 (東京大学), 廿日出文洋 (国立天文台), 家正則 (国立天文台), 松田有一 (国立天文台), 岡本崇 (北海道大学), 山口裕貴 (東京大学)

赤方偏移 $z = 7.2$ のライマン α 輝線銀河からの [O III] $88 \mu\text{m}$ 輝線を ALMA バンド 8 で観測し 5.3σ で検出した。一方、ALMA バンド 6 の観測で [C II] $158 \mu\text{m}$ 輝線は [O III] の位置では検出されず、また、いずれの ALMA バンドでもダスト連続光は検出されなかった。NB1006, J, H, K, $3.6\text{-}\mu\text{m}$, $4.5\text{-}\mu\text{m}$ の測光値と、ALMA による [O III] $88 \mu\text{m}$ 輝線光度、赤外線光度を制限としたスペクトルエネルギー分布フィットにより、重元素組成は太陽の 10 分の 1、星形成率は $300 M_{\odot} \text{ yr}^{-1}$ 、星形成年齢は 1 Myr、星質量は 3 億 M_{\odot} 、ダスト減光は $E_{B-V} = 0$ 、電離光子脱出率は 50% を最尤値として得た。ライマン α 輝線と [O III] 輝線の速度差は、この銀河の $M_{UV} = -21.5 \text{ AB}$ からすれば小さい値 $\Delta v_{Ly\alpha} = +110 \text{ km s}^{-1}$ であり、この銀河の星間中性水素量が少ないことを示唆する。また、主に PDR など中性水素ガス雲から放射される [C II] 輝線光度が [O III] 輝線光度の 12 分の 1 未満 (3σ) であることも、星間中性水素量の少なさを示し、先に述べた高い電離光子脱出率と整合的である。宇宙論的流体シミュレーションから得た M_{UV} の近いモデル銀河と比較したところ、[O III] 輝線光度と太陽の 10 分の 1 の重元素量は整合的であるが、観測されたダスト赤外線光度はモデルの数分の 1 未満であった。この銀河のダスト/重元素比が 20% 未満であることを示唆する。以上の諸性質はこの銀河を再電離光源のプロトタイプたらしめるかもしれない。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

X30a Hubble Frontier Fields 観測で探る高赤方偏移銀河の紫外線光度関数と宇宙再電離

石垣真史, 川俣良太, 大内正己, 大栗真宗, 嶋作一大, 小野宜昭 (東京大学)

$z \gtrsim 6$ の星形成銀河から放出される電離光子は、宇宙再電離を引き起こす主要な電離源だと考えられている。高赤方偏移では明るい銀河に対する暗い銀河の個数密度が相対的に大きいため、星形成銀河の宇宙再電離への寄与を議論するためには、紫外線光度関数を暗い等級まで精度よく求めることが必要となる。しかし、これまでのブランクフィールド探査による光度関数の研究では、紫外線絶対光度が -17 等級より暗い星形成銀河の個数密度の不定性が大きく、星形成銀河だけで宇宙再電離を説明できるかは明らかではなかった。Hubble Frontier Fields (HFF; PI: J. Lotz) は6つの銀河団領域を深撮像探査するプロジェクトであり、銀河団の重力レンズ効果を利用することにより、従来のフィールド探査より暗い銀河を検出することが可能となる。本研究では観測が完了した4つの銀河団のデータを用いて、 $z \sim 6 - 10$ の暗い等級での光度関数を求めた。 $z \sim 6 - 7$ では光度関数を ~ -14 等級まで制限を与えることができた。得られた光度関数を最新の Planck の観測によるトムソン散乱の光学的厚み τ の結果と比較したところ、宇宙再電離は星形成銀河の寄与のみによって説明できることが示された。この結果から、星形成が抑制され銀河の個数密度が小さくなる等級 M_{trunc} や、電離光子脱出率 f_{esc} への制限についての議論を行いたい。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

X31b 多波長分光データで探る $z = 5 - 8$ における銀河の星間物質と宇宙再電離

播金優一、大内正己、渋谷隆俊、小野宜昭、菅原悠馬（東京大学）

銀河がもたらす $\text{Ly}\alpha$ 放射の脱出率は、星間物質の水素の柱密度やアウトフローに依存しているばかりでなく、宇宙再電離期においては銀河間物質の散乱を受ける。このため、 $\text{Ly}\alpha$ 輝線は銀河の星間物質と宇宙再電離を調べる上で重要な観測対象となっている。これまで銀河の $\text{Ly}\alpha$ 放射は、 $\text{H}\alpha$ や $[\text{OIII}]5007$ 輝線などで銀河の系統速度を決めた上で、理論モデルの比較を含めて、 $z \sim 3$ まで詳しく調べられてきた。しかし、 $z > 5$ の銀河については鍵となる系統速度の測定値が簡単に得られないため、ほとんど調べられていない。そこで我々は、過去にケック望遠鏡で観測された $z = 5 - 8$ の銀河7個のアーカイブ分光データを解析した。これに ALMA 望遠鏡などの観測結果と組み合わせて、 $z = 5 - 8$ 銀河の $\text{Ly}\alpha$ 放射の性質を初めて統計的に調べた。 $[\text{CII}]158\mu\text{m}$ や $\text{CIV}1548$ 輝線に基づく系統速度からの $\text{Ly}\alpha$ 輝線のずれは $\Delta_{\text{Ly}\alpha} = 50 - 450 \text{ km s}^{-1}$ という値が得られた。さらに、 $\text{Ly}\alpha$ 輝線の等価幅との逆相関が示唆され、 $z \lesssim 3$ と同様の傾向が見られた。また $z \sim 5 - 6$ の4つの銀河からは金属吸収線を検出することができた。これらの金属吸収線は系統速度から $\sim 400 \text{ km s}^{-1}$ 青方偏移しており、アウトフローの証拠だと考えられる。本講演ではこれらの結果を踏まえて $\text{Ly}\alpha$ 放射の赤方偏移進化について宇宙再電離の効果を交えて議論する。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

X32b **cosmic noon**の小質量銀河の星形成活動とその性質

日下部晴香, 嶋作一大 (東京大学), 中島王彦 (ESO), 後藤亮介, 大内正己 (東京大学), 橋本拓也 (CRAL), 今野彰, 播金優一 (東京大学)

遠方の小質量銀河の星形成活動と性質を調べることで、形成初期の銀河の星形成メカニズムや宇宙再電離源についての示唆を得られる。しかし、多波長で深くまで観測できる cosmic noon の時代であっても、星質量が $\lesssim 10^7 M_\odot$ という非常に小質量の銀河は、 $z \sim 2$ で十数天体、 $z \sim 1.5 - 3$ でもその二倍程度しか個別同定されていない (e.g., Atek et al. 2014; Hagen et al. 2014; Karman et al. 2016)。一方、我々の $z \sim 2.2$ の SXDS 領域の narrow band 選択の Ly α emitters (LAEs) をサブサンプルに分けスタッキング解析を用いることで、非常に小質量の銀河 (の候補天体) を多数確保できることがわかった (後藤他, 2015 年春季年会講演)。そこで本研究では、SXDS 領域の LAEs を用いて非常に小質量の銀河を多数確保し、星種族とダークマターの観点から小質量銀河の星形成活動と性質を調べる。初めに、精度よく SED fit と clustering 解析を行うために、多波長 data を精査し LAEs サンプルを慎重に再定義した。約 0.4 deg^2 の領域に約 500 個の LAEs を得て、光度等の 4 つの物理量に応じて 20 種類のサブサンプルを作成した。これらの LAEs は、特に Ly α 光度の明るいものでサブサンプルを作成すると、星質量が非常に小さいものを多く確保でき、 $\gtrsim 1.4 \times 10^{42} L_\odot$ の LAEs 約 200 個は、 $\sim 10^7 M_\odot$ と見込まれる。これらの非常に小質量の LAEs は爆発的星形成銀河で、比星形成率 (sSFR) は、 $\sim 10^{-7} \text{ yr}^{-1}$ と大きく、形成初期の銀河の可能性はある。本講演では、このような小質量銀河の宇宙再電離への寄与と星形成メカニズムについて考察し、後者はクラスタリング解析によって得られるハロー質量とハッブル宇宙望遠鏡から得られる形態も考慮する。また、field variance に注意するために、GOODS-S, GOODS-N, COSMOS の 3 領域の結果も合わせて報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

X33b $z \sim 6$ Ly α Emitters の Ly α 光度関数と宇宙再電離

樋口諒, 大内正己, 小野宜昭, 澁谷隆俊, 今野彰, 播金優一, 日下部晴香 (東京大学), 柏川伸成, 松岡良樹 (国立天文台), 長尾透, 仁井田真奈 (愛媛大学), 川口俊宏 (札幌医科大学), 他 HSC Project 84/85 Collaboration

高赤方偏移銀河の光度関数は、宇宙再電離の電離源を調べる上で重要である。近年、 $z \sim 2 - 3$ における銀河の多波長観測の結果から、Ly α 光度関数の明るい側には、暗い活動銀河核 (faint AGN) が高い割合で存在しており、 $\log L(\text{Ly}\alpha) \gtrsim 43.5$ で光度関数の超過を示す天体のほぼ 100% が AGN であることが示されている (Konno et al. 2016)。本研究では、すばる望遠鏡の超広視野主焦点カメラ (HSC) を用いた SSP 観測により得られた、32.4 平方度におよぶ狭帯域バンドデータ (5 限界等級 24.5-25mag) を使い、 $z = 5.7$ と 6.6 の Ly α emitter (LAE) サンプルを作った。これに基づき Ly α 光度関数を求めたところ、両赤方偏移で光度関数の明るい側で Ouchi et al. (2010) で得られた光度関数の Schechter 関数の外挿値と比べて数密度が誤差棒を超えて超過していた。超過を示す $\log L(\text{Ly}\alpha) \gtrsim 43.7$ の LAE が全て faint AGN だと仮定し、 $z \sim 6$ の AGN UV 光度関数を見積もった。その結果、この光度関数の見積もりは Giallongo et al. (2015) が示した faint AGN の光度関数よりも小さく、個数密度にして 1/3 程度だった。このことから faint AGN の宇宙再電離への寄与は Giallongo et al. (2015) が主張する結果よりも小さい可能性がある。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

X34a **ALMA Deep Field in SSA22: The survey description and source catalogue**

梅畑豪紀、田村陽一、河野孝太郎 (東京大学)、廿日出文洋 (国立天文台)、ADF22 team

We present the results of a $2' \times 3'$ deep survey at 1.1 mm taken with the Atacama Large Millimeter/submillimeter Array (ALMA) in the SSA22 field (ALMA deep field in SSA22 or ADF22). Using a mosaic of 103 ALMA pointings, we observed 7 arcmin² area at the center of a $z = 3.09$ proto-cluster, achieving a typical rms sensitivity of $60 \mu\text{Jy beam}^{-1}$ at a resolution of 0.7 arcsec and $75 \mu\text{Jy beam}^{-1}$ at a 1.0 arcsec resolution, respectively. We obtained 18 robustly detected ALMA sources with a signal-to-noise ratio (SNR) > 5 . At least 10 ALMA sources have spectroscopic redshifts, $z = 3.09$. Not only are these galaxies members of the protocluster but they in fact reside within the node at the junction of the 50 Mpc-scale filamentary three-dimensional structure traced by Lyman- α emitters (LAEs) in this field. We find that six of the 10 ALMA sources host a X-ray luminous active galactic nuclei (AGN). Our results suggest that the vigorous star formation activity and the growth of super massive black holes (SMBHs) occurred simultaneously in the densest regions at $z \sim 3$, which may correspond to the most active historical phase of the massive galaxy population found in the core of the clusters in the present universe.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

X35a **A spectroscopically confirmed double source-plane lens system in HSC-SSP**

田中賢幸 (NAOJ)、Kenneth Wong (NAOJ)、Anupreeta More (Kavli-IPMU)、出塚杏沙 (京都大学)、江上英一 (Arizona)、大栗真宗 (Kavli-IPMU)、Sherry Suyu (MPA/ASIAA)、Alessandro Sonnenfeld (Kavli-IPMU)、ほか

Hyper Suprime-cam 戦略枠プログラムで発見された、極めて珍しいレンズシステムについて報告する。このシステムには重力レンズ効果を受けた arc/ring 状の天体が2つあり、それらが明らかに異なる色をしていることから、2つの背景天体が同時に重力レンズ効果を受けた double source-plane lens system であることがHSCデータから示唆された。そこで、Magellan/FIREによる近赤外分光フォローアップ観測を行い、これらの背景天体をそれぞれ赤方偏移 1.302 と 1.988 と確認した。これは、現在までに知られている double source-plane system の中で、二つに背景天体の赤方偏移が求められた初めての例である。レンズ天体は赤方偏移 0.795 にある星質量が $7 \times 10^{11} M_{\odot}$ の銀河で銀河団環境にあると思われる。このシステムを二つの独立なコードを用いてモデル化し、主要な feature を再現することができた。しかし、2つのレンズ像に関してはスムーズなポテンシャルだけでは再現することができず、substructure を置かないと説明できないことがわかった。より高解像度の画像による解析が待たれる。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

X36a 巨大ブラックホールのガス降着進化：非等方輻射フィードバックの効果

杉村和幸 (東北大学), 細川隆史 (東京大学), 矢島秀伸 (東北大学), 大向一行 (東北大学)

宇宙の晴れ上がりから現在に至るまでの宇宙進化史を明らかにする上で特に大きな謎として残っているのが、超巨大ブラックホールの形成過程である。超巨大ブラックホールの種がどのように作られ、その後どのような過程を経て成長してきたかについて、我々はまだ標準的なシナリオを確立するに至っていない。

この要因の一つに、降着円盤からの輻射フィードバックの下で超巨大ブラックホールのガス降着進化がどのように進むかについての理解が不足していることが挙げられる。特に、先行研究では降着円盤からの輻射を球対称と仮定して調べており、中心降着円盤からの輻射の非等方性を考慮した場合にガス降着進化がどのように進むかは不明であった。球対称を仮定するとすべての方向に均等にフィードバックが効くが、非等方性を考慮するとフィードバックの弱い方向から効率的に降着できるため、非等方性を考慮することで結果が大きく変わる可能性があった。

そこで、本研究では、中心輻射を取り入れた二次元流体シミュレーションをおこない、中心降着円盤からの輻射の非等方性を考慮して超巨大ブラックホールへのガス降着過程を調べた。中心降着円盤からの輻射の角度依存性は、特に円盤後方（中心部分から見て円盤の陰になっている方向）への輻射については大きな不定性があるため、輻射の角度依存性の強さをパラメータとして複数のモデルの計算をおこなった。

本講演では、まず数値シミュレーションの結果を紹介し、その結果に基づきブラックホールへの降着率が中心輻射の角度依存性にどのように依存するかを考察する。さらに、本研究の結果が超巨大ブラックホール形成シナリオに対して持つ意味について議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

X37a **ブラックホール バルジ質量関係から得られる銀河 ブラックホール共進化
描像**

白方 光, 岡本 崇 (北海道大学), 川口 俊宏 (札幌医科大学), 長島 雅裕 (文教大学)

多くの銀河はその中心に、超大質量ブラックホール (SMBH) を持つことが観測から示唆されている。そして SMBH の質量は母銀河のバルジ質量と良い相関があることが知られている。この SMBH 質量-バルジ質量関係は、銀河と SMBH の進化過程が密接にリンクしている証拠であると考えられているが、両者の進化過程については未だ謎が多い。

本研究では、準解析的銀河形成モデルから得られる SMBH 質量-バルジ質量関係を観測結果と比較した。そして、低質量のバルジが持つ中心ブラックホールのサンプルが増えれば、銀河形成直後のブラックホール質量に強い制限が付けられることが分かった。また、SMBH 質量-バルジ質量関係は、バルジと SMBH がどのように質量を獲得してきたのかを反映していると考えられているが、もし銀河の形成された時期の情報が得られれば、バルジと SMBH の質量獲得メカニズムにさらなる制限を与えられる可能性があることを発見した。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

X38a **Subaru High-z Exploration of Low-Luminosity Quasars (SHELLQs) II**

松岡良樹 (国立天文台) on behalf of the SHELLQs collaboration

高赤方偏移 ($z > 6$) クエーサーは、初期宇宙における巨大ブラックホールの形成、宇宙再電離、母銀河の進化などを探る上で極めて有用なツールの1つである。また宇宙暗黒時代からまもない時期における高光度の活動銀河核現象として、それ自身非常に興味深い天体種族でもある。これまでに SDSS, CFHT Legacy Survey, UKIDSS, VIKING, Pan-STARRS1 などの広域探査によって 50 天体ほどが発見されているが、それらは観測の制約によって、おおむね光度 $M_{1450} \leq -24$ 等、赤方偏移 $z \leq 7$ の種族のみに限られている。光度関数のより暗い側 (すなわち平均的にブラックホール質量の低い側)、あるいは赤方偏移のより高い宇宙にどれだけのクエーサーが存在するのかは、巨大ブラックホールの形成・初期成長メカニズム、また宇宙再電離への放射寄与との関連からも非常に重要な問題である。

我々はこの問題に取り組むため、すばる望遠鏡 Hyper Suprime-Cam による戦略的サーベイデータを用いて、従来よりも約 2 等深く、かつ現在の赤方偏移記録を超えるクエーサーにまで感度のある画期的な探査プロジェクトを推進している。これまでにすばる, GTC, Gemini 望遠鏡による分光フォローアップ観測を経て、40 天体ほどの高赤方偏移クエーサーおよび大質量銀河の発見に成功している (Matsuoka et al., ApJ in press, arXiv:1603.02281)。本探査のためのすばるインテンシブ・プログラムも採択され、2018 年にかけて計 20 夜の FOCAS 分光観測を行う予定である。本講演では、このプロジェクトの最新状況と展望について報告する。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

X39a Two-point angular correlation function of Dust Obscured Galaxies discovered by HSC and WISE

Yoshiki Toba (ASIAA), Tohru Nagao, Masaru Kajisawa (Ehime Univ.), Taira Oogi (Kavli IPMU), Hiroyuki Ikeda (NAOJ), Wei-Hao Wang (ASIAA), Hideo Matsuhara (ISAS/JAXA), HSC-DOGs project member

We present the clustering properties of Dust Obscured Galaxies (DOGs) which are likely to be a progenitor of present-day galaxy clusters but to be missed by previous surveys. Combining wide and deep optical images obtained with the Hyper Suprime-Cam (HSC) on the Subaru Telescope and all-sky mid-infrared images taken with Wide-Field Infrared Survey Explorer (WISE), we discovered 4,367 DOGs with $(i - [22])_{AB} > 7.0$ and flux at $22 \mu\text{m} > 1.0 \text{ mJy}$, that is the largest sample so far. For 1,411 subsample with $3.0 \text{ mJy} < \text{flux} (22 \mu\text{m}) < 5.0 \text{ mJy}$ and $i_{AB} < 24.0$ in $\sim 100 \text{ deg}^2$ selected by taking account the uniform depth for entire field, we calculate the two-point angular correlation function (ACF) that is one of the tools to investigate the clustering properties. Given the ACF and redshift distribution in an adopted cosmology, we can calculate the correlation length that corresponds to the clustering strength of objects, providing information of the mass of dark matter haloes in which they reside. We found that their correlation length is $r_0 = 9.83 \pm 1.70 h^{-1} \text{ Mpc}$, which is consistent with those of quasars and submillimeter galaxies at $z \sim 2-3$. This correlation length indicates that their bias factor is $b = 4.97 \pm 0.82$ and they reside massive dark matter halo mass with $\log [M_{\text{DMH}} / (h^{-1} M_{\odot})] \sim 13.3$ (Toba et al. 2016b to be submitted).

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

X40a **HSC-FIRST radio galaxy survey. I. Selection and initial results**

延原広大, 長尾透, 仁井田真奈 (愛媛大学), 鳥羽儀樹 (ASIAA), ほか HSC project 41 members

電波銀河は、母銀河が大質量の楕円銀河である傾向にあり、銀河進化の最終段階にあると考えられる。また、大質量のブラックホールを持ち、エディントン降着率が低いことから、活動銀河核としても進化の最終段階にあると考えられる。以上のことから、電波銀河は銀河とブラックホールの共進化の最終段階を解明するために非常に重要な天体である。さらに、高赤方偏移に存在する電波銀河は原始銀河団を伴う傾向もあり、宇宙の大規模構造の進化を解明する上でも重要な天体である。しかし、稀な天体であるため、発見されている $z > 3$ の電波銀河は数十天体である。これまでも SDSS と FIRST を組み合わせることで電波銀河探査が行なわれているが、可視光観測の感度が低いために、未だ半分以上の FIRST 源の可視光対応天体が同定されていない。

そこで、私たちはこれまでになく高感度で広視野の可視光画像を取得することのできる HSC の観測データを用いた電波銀河探査に取り組んでいる。HSC に比べ FIRST の角分解能が約 5 秒と低いため、FIRST の像の中に数天体の HSC 天体が存在するケースがあり、その中のどれが対応天体なのかを特定することは一般に困難である。そのため、天体カタログのフラグの情報を用いて HSC, FIRST とともに clean な天体を準備し、コンタミネーションやコンプリートネスを考慮することで、HSC と FIRST のマッチングには 1 秒角内の距離に存在する一番近い天体を対応天体とすることが適切であることを明らかにした。今回の電波銀河探査により、可視光強度に対する電波強度の比 (R : radio loudness) が大きな天体が確認された。特に、新しいパラメータスペース ($R > 4.5$) に発見された対応天体は、これまでの SDSS を用いた大規模探査では見つかっていなかった電波銀河候補天体といえる。さらに、photometric redshift が $z > 3$ を示す天体も発見された。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

X41c 準解析的銀河・AGN形成モデルへのスリム円盤モデルの導入

大木平 (カブリIPMU), 榎基宏 (東京経済大学), 石山智明 (千葉大学), 小林正和 (呉高専), 真喜屋龍 (カブリIPMU), 長島雅裕 (文教大学), 吉田直紀 (東京大学)

高赤方偏移 ($z \sim 7$) クェーサーの観測から、宇宙年齢 1Gyr 未満においてすでに $10^9 M_{\odot}$ を超える超大質量ブラックホール (SMBH) が存在することが分かってきている。このような SMBH を説明するため、種BHがスーパーエディントン降着で成長するというシナリオが提案されている。スーパーエディントン降着が起きた場合、スリム円盤と呼ばれる構造が実現されると理論的に考えられている。スリム円盤モデルでは、photon trappingにより、スーパーエディントン降着時にも光度はエディントン光度の数倍程度の状態が可能となる。このようなスリム円盤モデルは、クェーサー/AGNの統計的性質に影響を与えることが予想される。

そこで我々は、これまでに開発してきた準解析的銀河・AGN形成モデルにスリム円盤モデルを導入した。我々のモデルは、銀河とSMBH/AGNの形成・進化を統一的に取り扱うことができ、近傍銀河の光度関数やAGNのダウンサイジングを再現することに成功している。また、ダークハローの形成史に超大規模宇宙論的 N 体シミュレーションを用いているため、個数密度の少ないクェーサーの空間相関を調べることが可能である。

その結果、我々のモデルは高赤方偏移においてクェーサーバイアスにクェーサー光度依存性を示すことが分かった。さらに、最も明るいクェーサーのバイアスは、観測結果と合う傾向であることが分かった。本講演ではこれらの結果を示し、スリム円盤モデルの検証可能性について議論する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

X42c クエーサー環境と周囲の銀河へのフィードバック

菊田智史、今西昌俊、嶋作一大、松岡良樹、仲田史明

AGN フィードバックによる星形成の抑制は銀河形成の重要な要素である。母銀河への AGN フィードバックは精力的に研究されてきたが、高光度 AGN であるクエーサーでは強い紫外光が周囲の銀河にまで届くため、母銀河以外の銀河にもフィードバック効果を及ぼすことが予想される。背景紫外光による負のフィードバックについての理論予測は多くある (e.g. Benson et al. 2002) が、AGN 周囲の銀河に対するフィードバックの観測研究は十分進んでいない。定性的には、低質量の銀河ほど紫外光が浸透し、強く星形成が妨げられると考えられる。

一方、クエーサーはガスを豊富に持つ銀河同士の衝突により引き起こされると考えられており、そのためクエーサー周辺は銀河同士の衝突確率の高い高密度な領域である確率が高いことも予想できる。この場合、銀河の質量によらず数密度が高くなるため、低質量側に強く効く上述のフィードバックとは区別できる。近年ではしかし、クエーサーは必ずしも高密度領域をトレースせず、電波銀河はしうるという結果も得られつつある (Hatch et al. 2014)。

我々は、クエーサー周辺の銀河に関する上記 2 つの環境効果を探るため、すばる望遠鏡 Suprime-Cam を用いて 2 つの $z \sim 4.9$ クエーサーと $z \sim 4.5$ 電波銀河の周囲の Lyman alpha emitter (LAE) を観測した。光度関数を描き、その暗い側と明るい側の形を中心のクエーサーまたは電波銀河の近くと遠くで比較することでこれらの影響の有無を明らかにする。2 つのクエーサー周囲においては LBG も観測し、その分布を LAE と比較した。その結果、観測した光度範囲においてクエーサー周囲のフィードバックおよび密度超過の兆候はほとんど見られなかった。本講演ではこの結果の解釈および電波銀河での様子との違い等について詳しく議論する予定である。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

X43a 分子ガス密度の宇宙論的進化

前田郁弥、太田耕司、世古明史（京都大学）

宇宙の星形成率密度 (ρ_{SFR}) は、 $z \sim 1-3$ に遡ると現在の約 10 倍大きく、 $z = 1-3$ の銀河の星形成活動が現在に比べて約 10 倍活発であったことを示している。その原因はまだよくわかっていないが、1 つの可能性として、星形成に必要な分子ガス量が現在よりも約 10 倍大きかったということが挙げられる。最近の理論的な計算結果でも、宇宙における分子ガス密度が現在の値より 10 倍程度高かったという結果がある。しかし、観測的にこの値に制限をつけることは非常に困難であった。

最近になって、ALMA 等による CO の高感度観測が行なわれ、 $z \sim 1.5$ の分子ガスの観測が進み始めた。Seko, Ohta et al. (2016) で、星形成銀河 (main sequence galaxies) 中の分子ガスの割合 (f_{gas}) と銀河の星質量 (M_{star}) の関係がわかってきた。そこで、本研究では、この f_{gas} の M_{star} 依存性と星形成銀河の星質量関数を組み合わせることで分子ガス密度 (ρ_{gas}) の赤方偏移進化を調べることを試みた。 $z \sim 1.5$ では $M_{\text{star}} > 2.0 \times 10^{10} M_{\odot}$ の範囲で ρ_{gas} を求めると、現在に比べて約 15 倍大きいという結果になった。

この結果は、 ρ_{SFR} の増加をほぼ説明できるように見えるが、実際には更に軽い銀河からの寄与があるため下限とみなされる。 $\rho_{\text{gas}}(z \sim 1.5)$ の値がもっと大きくなると $z \sim 1.5$ では星形成効率が悪かったことを示唆するのかもしれないが、不定性もある。一つは、分子ガス質量を出す際に用いる CO-to- H_2 conversion factor (α) である。 α は金属量依存性を考慮する場合としない場合 (Galactic α) を試してみたが、結果に大きな違いは見られなかった。もう一つは、CO 輝線の強度比である。分子ガスが thermalize に近いケースでの輝線比を用いると ρ_{gas} は小さくなる。本講演ではこれらの結果を示し問題点も示したい。

[セッションのトップに戻る](#)[スケジュールに戻る](#)

X44a **ALMA Millimeter Sizes of $z \sim 1-4$ Bright Submillimeter Galaxies**

Soh Ikarashi, Karina Caputi (Kapteyn Astronomical Institute), Rob Ivison (ESO), Bunyo Hatsukade (NAOJ), Kouji Ohta (Kyoto University) and the AzTEC-ALMA-SXDF/UDS collaboration

Early ALMA imaging of submillimeter galaxies (SMGs) with sub-arcsecond resolutions discovered $\gtrsim 2$ compact (sub)millimeter (submm) sizes of SMGs than we believed before ALMA. Two of new questions are whether submm sizes of SMGs evolve along redshift or not, and what makes different submm sizes of SMGs.

In ALMA cycle-2, we obtained ALMA 1100- μm continuum maps with $0''.2-0''.3$ resolution of 143 bright AzTEC SMGs in the Subaru/XMM-Newton Deep Field. We studied submm sizes of SMGs using subsamples of 45 $\geq 10\sigma$ ALMA sources. The obtained submm sizes of 9 SMGs at $z_{\text{photo}} = 2-3$ and 9 ones at $z_{\text{photo}} = 3-4$ are $0.25_{-0.02}^{+0.06}$ and $0.28_{-0.02}^{+0.04}$ arcsec (FWHM; median), corresponding to circularized half light radii of $1.03_{-0.08}^{+0.19}$ and $1.05_{-0.05}^{+0.11}$ kpc, respectively, indicating no size evolution at $z \sim 2-4$.

We also studied a relation between ALMA submm sizes and *Spitzer* IRAC and MIPS AGN colors using 10 ALMA SMGs with $\geq 10\sigma$ detections at $z_{\text{photo}} = 1-3$. Two of the 10 SMGs are categorized as pure AGNs, four as pure star forming and the remaining four as composite. We evaluate extendness of submm emission using an ALMA flux ratio of $F_{\geq 200\text{k}\lambda}/F_{\text{total}}$; here $F_{\geq 200\text{k}\lambda}$ corresponds to a flux from a central ~ 3 kpc region. Only three of them have $F_{\geq 200\text{k}\lambda}/F_{\text{total}} < 0.7$ and all SMGs with *Spitzer* colors of pure AGN have $F_{\geq 200\text{k}\lambda}/F_{\text{total}} < 0.7$. These results imply that extended submm sizes of SMGs at $z \sim 2$ are associated with AGNs.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

X45a

Central Structure of the Brightest Unlensed Submillimeter Galaxies

伊王野大介, 中西康一郎, 松田有一 (国立天文台/総研大), Min S. Yun, Grant Wilson (UMass), David Hughes, Itziar Aretxaga (INAOE), 植田準子 (CfA), 河野孝太郎, 田村陽一, 梅畑豪紀, 斉藤俊貴, 泉拓磨, 李民主 (東京大学) 川辺良平, 廿日出文洋 (国立天文台), 五十嵐創 (Groningen), 道山知成, 安藤未彩希 (総研大)

The central structure in three of the brightest unlensed submillimeter galaxies at $z = 3 - 4$ are investigated through $0.02''$ (~ 160 pc) 860 micron continuum images obtained using ALMA. The distribution of dust in the central kpc in two of the sources are extremely complex, and they are composed of multiple clumps with size scale of $\sim 200 - 300$ pc. One source consists of two components that are separated by ~ 1.5 kpc, indicating a mid-stage merger. The high average SFR densities in the central kpc suggests that the central region of these SMGs are forming stars near the Eddington Limit. We further find that 80 – 90% of the emission is extended beyond the central kpc, and we identify at least five additional ~ 200 pc clumps in the extended 3–4 kpc region. These compact massive star forming clumps could migrate inward to merge with the central galaxy which can be the ancestor of the compact quiescent galaxies found at $z \sim 2$, or evolve into the central galaxy in a proto-cluster if there is sufficient overdensity of galaxies. Overall, the data presented here suggest that the sizes and surface densities of the central kpc of the brightest SMGs are comparable to the central region of the brightest ULIRGs in the local universe, but the large amount of > 1 kpc scale extended and clumpy star formation as well as the available gas are what make them different from the local counterparts.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

X46a SCUBA2 Lensing Survey

Tomotsugu Goto, Rieko Momose (NTHU), Kazushi Sakamoto (ASIAA)

Strong gravitational lensing is a powerful tool to investigate faint, distant galaxies. With a large magnification factor (μ ; e.g., $\times 100$), one can observe very faint galaxies, that cannot be observed unless gravitationally magnified. A factor of 100 magnification corresponds to having a factor of 100 larger telescope in diameter. However, such strongly-lensed sources need specific geometric configuration with a massive lens object. Therefore, they are rare, and difficult to be found.

Submm observation is a powerful tool to find strongly-lensed sources. Due to the negative k -correction of the Rayleigh-Jeans tail of the dust component spectral energy distribution (SED), submm flux stays bright even at the distant Universe.

To find new gravitational lens, we have been performing a SCUBA2 survey of massive clusters with $M > 6 \times 10^{14} M_{\odot}$. So far, we have observed 136 of such clusters with SCUBA2. We successfully found 12 lens candidates, for several of which we have taken submm spectra with IRAM 30m telescope. Here, we report our results obtained so far, and the progress of the project.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

X47a $z \sim 1$ と 0 の銀河団における早期型銀河の等面輝度形状について

満田和真, 土居守, 諸隈智貴, 鈴木尚孝, 安田直樹 (東京大学), Saul Perlmutter (University of California), Greg Aldering (Lawrence Berkeley National Lab.), Joshua Meyers (Stanford University)

We compare the isophote shape parameter a_4 of early-type galaxies (ETGs) between $z \sim 1$ and 0 as a proxy for dynamics. We create cluster ETG samples with spectroscopic redshifts from the *Hubble Space Telescope* Cluster Supernova Survey for $z \sim 1$ and the *Sloan Digital Sky Survey* for $z \sim 0$. We have developed an isophote shape analysis code which can be used for high-redshift galaxies and applied the same method for both the $z \sim 1$ and 0 samples. We find similar dependence of the a_4 parameter on the mass and size at $z \sim 1$ and 0; the main population of ETGs changes from disk to boxy at a critical stellar mass of $\log(M_*/M_\odot) \sim 11.5$ with the massive end dominated by boxy. The similar critical mass between these redshifts is consistent with a scenario that the mass quenching is the origin of massive boxy ETGs. The disk ETG fraction decreases with increasing stellar mass both at $z \sim 1$ and 0, and the fraction is consistent between these redshifts in all stellar mass bins. Although uncertainties are large, the results suggest that the isophote shapes and probably dynamical properties of ETGs in massive clusters are already in place at $z > 1$. The constant disk fraction favors less violent processes than mergers as main cause of the size and morphological evolution of intermediate mass ETGs in $z < 1$.

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

【Y. 天文教育・その他】

9月14日(水) 午前(11:00-13:00) [I会場]

Y01a	11:00	光害の数値化について 本田陸人(東筑紫学園高等学校)
Y02a	11:12	ワークショップ「古典」オーロラハンター 藤原康徳(総合研究大学院大学)
Y03a	11:24	花山天文台における小学生のための天文普及活動「みんなで作るバタフライダイアグラム」 鴨部麻衣(京都大学)
Y04a	11:36	ふれあい天文学6年間の軌跡 アンケート調査から見てきたこと 縣秀彦(国立天文台)
Y05a	11:48	プロジェクト型アウトリーチ活動における大学生の学習効果に関する質的研究:高校生向け天文学者職業体験企画(もし天)に焦点を当てて 田中幹人(東北大学)
Y06a	12:00	Mitakaを活用した教員免許更新講習 福田尚也(岡山理科大学)
Y07a	12:12	4次元デジタル宇宙ビューワー「Mitaka」のVR対応について 加藤恒彦(国立天文台)
Y08a	12:24	国際天文学連合・天文普及グローバルプロジェクトへの参加 白田-佐藤功美子(国立天文台)
Y09b	12:36	大学教養教育における実証的な天文教育の試みについて 上田晴彦(秋田大学)
Y10b	12:36	教員志望学生を対象にした天体望遠鏡実習の授業実践とその効果 下井倉ともみ(東京学芸大学)
Y11b	12:36	アクロマート屈折望遠鏡で超色消し画像を得る試み 竹内彰継(米子工業高等専門学校)
Y12b	12:48	天体の地球衝突問題に対する国内外の活動について 吉川真(宇宙航空研究開発機構)
Y13c		「あかり」データアーカイブプロジェクトの現状(7) 山村一誠(宇宙航空研究開発機構)
Y14c		分光データを用いた自主学習型解析体験教材の開発 伊藤信成(三重大学)
Y15c		全天モニタ画像の残差の評価と補正について 小澤友彦(紀美野町文化センター)
Y16c		岡山天文博物館所蔵の分光器「新カセ」についての展示解説 安藤和子(岡山理科大学)

Y01a 光害の数値化について

高校3年 本田陸人、湖平元彌、藤井悠野 高校2年 古川郁将、西村江梨花、東元太誠 高校1年 岩満春樹、丸山璃花、前田稜河、金光廣樹、渡部稜平

人工の無駄な光が原因で起こる様々な害を光害という。光害によって市街地では夜空が明るくなり、星が見えなくなる。この夜空の明るさについて、理科部として13年間に渡り研究を行っている。観測には、スカイクオリティメーター (SQM) および自動観測できる SQM-LE を用いている。これまでの研究で、SPM や黄砂などのエアロゾルが夜空を明るくする事や、地表付近の大気の影響を大きく受けていることを証明した。2012年に完成させた「北九州1/5万等光度曲線地図」は夜空の明るさ、ひいては光害を可視化したものである。今回、曖昧な指標である光害を数値化するために、光害指数 (Light Pollution Index of Sky, LPI-S) (1) を考案した。経時変化率 [r] は夜空の明るさの時間毎の変化である。これは交通量や住宅の明かりの変化などの人的要因、すなわち人間の活動量を表すことができる。一方、新宿区のように夜まで人間の活動が盛んな場所では経時変化率が小さくなるため、人口密度 [P] もパラメータに入れた。そして、研究のベースである夜空の明るさ [b] は、市街地か山間部かといった観測地の立地条件だけでなく、エアロゾルなどの環境指標の影響を表現できる。この公式の実用性を検証するために、北九州市内で観測を行い、さらに先輩方が発足させた夜空の明るさ全国ネットワークから、データの提供を受けた。その結果、光害の大きい市街地では値が100を越える一方、天文台では値がほぼ0となった。目視できる星の等級と光害指数に相関がとれ、実用性のある公式になったと考えている。

$$\text{LPI-S} = \frac{\text{Pr}}{\text{b}} \quad (1)$$

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Y02a ワークショップ「古典」オーロラハンター

藤原康徳（総研大、極地研）、片岡龍峰（総研大、極地研）、岩橋清美（国文学研究資料館）

総合研究大学院大学学融合研究の「オーロラと人間社会の過去・現在・未来」の取組の一環として人文系と自然科学系の研究者の連携、および広く市民に呼びかけ、古典籍から歴史的オーロラを抽出する「古典オーロラハンター」というワークショップを開催した。オーロラは、北極や南極のみならず、過去に日本でもみられており、江戸時代には、立派なオーロラの絵が描かれている。こういった、地球規模で緯度の低い地域にまで広がるオーロラというのは数十年に一度あるかないか、という程度に珍しいものであり、最大級のものとなると、数百年に一度しか起こらないため、手がかりが極めて限られている。今回のワークショップでは、公募したオーロラファンと国文学研究資料館（国文献）と国立極地研究所（極地研）の研究者が連携をとり、オーロラファンと両研究所のスタッフが共同して国文研所蔵の古典籍の中よりオーロラ（赤気）や天文現象（彗星、月と惑星の接近など）を探し出すという作業を実施した。この報告では、今回の文理融合・市民参加の研究への取り組みの概要と参加者が見出した現象についても紹介する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Y03a 花山天文台における小学生のための天文普及活動「みんなで作るバタフライダイアグラム」

鴨部麻衣, 石井貴子, 西田圭佑, 大辻賢一, 玉澤春史, 木村剛一, 門田三和子, 柴田一成, 野上大作 (京大理), 関智也 (京都市教育委員会), 萩野正興 (国立天文台)

京都大学花山天文台では、京都市教育委員会の「京都大学との連携事業」の一環として、京都市立小学校の児童を対象とした「花山天文台体験学習」を受け入れている。さらに京都市立堀川高等学校とも連携し、高校生が学習ノートの作成や見学の解説員として貢献している。2015年には、体験学習のコンテンツとして、「みんなで作るバタフライダイアグラム」を行った。本講演では、京都市教育委員会との連携事業の概要と小学生と作る太陽のバタフライダイアグラムの制作について報告する。

「みんなで作るバタフライダイアグラム」では、小学生が観測施設を見学する際に、太陽黒点の発生年月と緯度が記されたカードを一人ずつに配布した。約11年に及ぶ花山天文台の観測データを用いて、小学生全員が作成に参加した。対象校すべての見学終了後に、完成したグラフと解説資料を各クラスに配布した。

2013年に始まった「花山天文台体験学習」では、これまでにのべ33校、約1970名の小学生が花山天文台を訪問し、児童・生徒たちに最先端の天文学や研究者に触れる機会を提供してきた。「バタフライダイアグラム」についても見学中に児童から、「これって蝶々の形になるんちゃう？」という気づきにつながるコメントがあり、太陽観測の重要性や継続観測の意義を伝えるアウトリーチ教材としての利用価値が高いことを確認した。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Y04a ふれあい天文学 6年間の軌跡 - アンケート調査から見えてきたこと

藤田登起子、縣 秀彦、有本信雄（国立天文台）

全国の児童・生徒と天文学者が直接出会う機会があったら、様々な「化学反応」が起こるのでは？という発想で始まった国立天文台のアウトリーチ事業「ふれあい天文学」は、今年度で実施7年目を迎えた。2009年に世界各国で取り組まれた「世界天文年2009」の際に「天文学振興募金」が設立され、世界天文年以降その趣旨を継承し発展することを目的に、本事業は大学院支援室が発案し2010年度から開始された。2012年度からは天文情報センター普及室が担当。「ふれあい天文学」は募金を原資に、この間、北は北海道、南は鹿児島県、さらには父島、八丈島ほか全国各地約300校（延べ数）に出かけ、2010-15年度の6年間でふれあい天文学の授業を受けた児童・生徒の総数は、31,364名にのぼる。この間、全国の小・中学校で、個性あふれる工夫された授業が実施されてきた。本事業に参加した国立天文台職員は毎年40名前後である。

昨年度行った実施校アンケートによると、実施60校中47校より回答があり（回答率78%）、事業全体の満足度は5段階評定で平均4.8と極めて高い満足度であることが分かった。また、来年度も実施希望か？に対し同じく平均4.5と高い数値であった。ただ、募金を原資とする事業との認知は半数以下であった。講演においては本調査と出前授業を担当した国立天文台職員からの聞き取りから見えてきた本事業の評価と将来ビジョン、他大学・研究機関への波及効果について報告する。

ふれあい天文学 <http://prc.nao.ac.jp/delivery/fureai.html> 天文学振興募金 <http://www.nao.ac.jp/bokin/index.htm>

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Y06a Mitaka を活用した教員免許更新講習

福田尚也, 森原早有理 (岡山理科大学)

平成 21 年度より教員免許更新制が始まり、教員免許を維持するためには大学等で開講されている免許状更新講習を受講する必要がある。岡山理科大学では、数学と理科、技術・工学の教員を対象とした講習を初年度より行っている。私は理科の講習の一部を担当し、Mitaka を用いた天文教育を題材として 7 年間継続して行ってきたので、それについて報告する。講習は、教員が Mitaka を授業等で活用してもらえるようにすることを目標とし、コンピュータ実習室を用いて Mitaka をインストールしたコンピュータを 1 台ずつ割り当てて実習形式で行った。

岡山理科大学の理科の講習の受講者は年によってばらつきはあるが平均 23 名であった。中学教員が 50%、高校教員が 40% であり、小学校教員は合計 2 名と極めて少ない。受講者の出身県は地元の岡山県が 71% と大多数を占める。ついで広島県 10%、兵庫県 7%、他県 12% である。他県は大学出身の OB の教員の方が多い。受講者に対して Mitaka の使用について調査をしたところ、Mitaka をインストールしたことがある教員は見受けられるが、活用できている例は極めて少ない。Mitaka を試用したことがあるが、使いこなせていない例も多い。これは、プラネタリウムモードから宇宙空間モードに切り替えることにおいて所定の手順が必要であることや、Mitaka を軽快に動作させるためには、現在のパソコンでも GPU が重要であることが原因として考えられる。

天文教育が必修である中学教員を直接指導できること、物理・化学・生物の高校教員にも Mitaka を体験してもらえることから一定の天文教育普及の効果が認められると考えられる。実習後のアンケートにも Mitaka を授業で活用したいなどの感想が多くある。ただし、受講者の多くは岡山県であり、普及の範囲は限定的である。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Y07a 4次元デジタル宇宙ビューワー「Mitaka」のVR対応について

加藤恒彦, 小久保英一郎, 縣秀彦, 中山弘敬, 長谷川鋭, 福士比奈子 (国立天文台)

国立天文台4次元デジタル宇宙(4D2U)プロジェクトでは、天文シミュレーションソフト「Mitaka」の開発をしている。これは地球から宇宙の大規模構造までを自由に移動して様々な天体や構造を見る事ができるソフトである。これまで、国立天文台三鷹キャンパスにある立体視ドームシアターで一般向け公開の上映などに使用されてきたほか、フリーソフトとしても公開しているので (<http://4d2u.nao.ac.jp/html/program/mitaka/>)、教育用途、上映、展示、個人のPCでの利用、など様々な用途で広く使われてきた。前回2016年春季年会では、バージョン1.3.0と1.3.1で行った多言語対応やさまざまな機能追加について報告した。

一方、近年、新しい立体視表示装置としてバーチャルリアリティ(VR)用のヘッドマウントディスプレイ(HMD)が登場してきた。これはかぶって使うゴーグル型ディスプレイで、頭を向けることで前後左右上下、任意の方向の物体を立体的に見る事ができるものである。特に、任意の方向に天体があるMitakaなどの宇宙コンテンツには最適なデバイスである。PC向けVR-HMDの代表的なものにはOculus RiftやHTC Viveなどがあり、今年になって次々と製品版の販売が開始された。こうした中、MitakaもOculus Rift対応版の開発を始め、「実験版」として公開を行ってきた。昨年度の国立天文台三鷹キャンパスの特別公開日などでも体験ブースを設けて使用し、その没入感の高さから好評だった。現在は製品版への対応を進めている。このほか、スマートフォンとダンボール製の簡易ヘッドセットを用いた「スマホVR」版の開発も始めている。まだベータ版ではあるが、5月にコロムビアで行われたCAPカンファレンスでのMitakaワークショップなどでデモンストレーションに使われた。

講演では、上述のVR対応についてや、最新版で追加された新機能などについて報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Y08a 国際天文学連合・天文普及グローバルプロジェクトへの参加

臼田-佐藤 功美子 (国立天文台/IAU OAO), 富田 晃彦 (和歌山大学), Lina Canas (IAU OAO/国立天文台)

国際天文学連合 (IAU) は 2009 年世界天文年の成功をうけ、天文学をより広く普及させる「IAU10 年戦略」(2010 年-2020 年) をたてた。そして 2011 年南アフリカ天文台に天文学推進室 OAD (Office of Astronomy for Development) を、2012 年日本の国立天文台に国際普及室 OAO (Office for Astronomy Outreach) を設置した。OAD には、大学と天文学研究 (TF1)、子どもと学校教育 (TF2)、一般向け普及活動 (TF3) の 3 つの Task Forces (TFs) があり、富田と Canas は TF2、臼田-佐藤は TF3 のメンバーである。

IAU 等が進めている子ども向けの教材開発プロジェクト Universe Awareness (UNAWA) には、富田、Canas ら OAD TF2 メンバーが深く関わっている。UNAWA では国立天文台やヨーロッパ南天天文台など、世界の研究機関による発見を、子ども向け宇宙ニュースにした Space Scoop として随時英語で発信し、世界各国のボランティアにより約 40 の言語に訳されている。日本にも和訳チームがあり、日本語の記事が発信されている。2016 年 5 月から 8 月末までは Space Scoop Comic Contest が実施され、和訳チームでも日本の子ども達の参加をよびかけた。

障害者やマイノリティーを考慮した「ユニバーサルデザイン天文」は国内で活発に行われているが、IAU でも 2015 年に Division C Commission C1 にて、Astronomy for Equity and Inclusion ワーキンググループ (WG) が発足した。この WG の天文手話リスト作成については、OAD TF3 のプロジェクトとして承認されている。

本講演では、天文普及グローバルプロジェクトの活動内容を紹介するとともに、日本からの更なる参加についてよびかける予定である。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Y09b 大学教養教育における実証的な天文教育の試みについて

上田晴彦（秋田大学）

1991年に実施された大学設置基準の大綱化により、大学における教養教育の見直しがおこなわれて久しい年月が経つ。その間、教養教育で天文学を教える試みが徐々に浸透してきており、現在では多くの大学の教養教育で天文学を学ぶことが出来るようになった。教養教育における天文教育の究極の目標は、「自分たちが住んでいる世界がどのようなものなのか」をきちんと理解してもらうことであろう。それに加えて、天文学が観測と数理の力を合わせた実証的な学問であるとの見方を教えることも大切であろう。しかし大規模観測や高度な物理理論を駆使する現代天文学を、教養教育で実証的に教えることは実現困難であった。

このような状況を少しでも改善するため、慶應義塾大学インターネット望遠鏡プロジェクトでは、教養教育で利用できるテキスト『インターネット望遠鏡で観測！現代天文学入門』を編纂した。本書はインターネット望遠鏡を利用した観測事例を紹介し、どのようにすれば天文学にまつわる自然法則（例えば近点月を求める、ケプラーの第3法則を確かめるなど）を、観測データを集め求めることが出来るのかについて、大学1年生にも分かるように説明してある。本研究では、秋田大学の教養教育でこのテキストに沿って行った授業の概要を紹介する。特に実証的に天文教育がどの程度学生に理解され受け入れられたのかについて、アンケート調査の結果に基づいて報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Y10b 教員志望学生を対象にした天体望遠鏡実習の授業実践とその効果

下井倉ともみ, 土橋一仁 (東京学芸大学)

我々は、東京学芸大学に在籍する小学校・中学校の教員を目指す理科専攻の学生に対して行った天体望遠鏡の実習に関する教育実践と、その結果について報告する。授業実践は、東京学芸大学の「地学実験」の授業を利用して、2016年春学期(5月)に行った。この授業は、初等・中等教育教員養成課程の小・中学校教員養成の学生74人を対象とした、免許法上の教科に関する科目(小・中学校の教科に関する必修科目)である。実習の目的は、受講者に口径8cmの屈折式天体望遠鏡の組み立てと操作方法を習得させ、安全な太陽観察の方法を習得させるものである。実習は、操作に十分慣れるよう天体望遠鏡1台につき少人数の34人を1グループとして行った。始めに天体望遠鏡の説明や取り扱い等についての事前指導を行った後、各グループで太陽観察を行い、最後に各自で操作方法を習得する時間を1時間半程度もうけた。実習後、天体望遠鏡を組み立ててそれを操作し、目標物を導入させる実技試験を行った。その結果、受講生全員が合格基準に達した。

本実習前の調査により、受講生について次の2つがわかっていた。(1)天体望遠鏡が操作できる学生の割合は1割未満である。(2)小学校及び中学校の理科の授業で、天体観察は必要だと回答した学生の割合は7割である。また、実習後の調査により、以下の結果が得られた。(1)天体望遠鏡の操作方法を「まあ習得できた」、「習得できた」と回答した学生の割合は9割である。(2)小学校及び中学校の理科の授業で、天体観察は必要だと回答した学生の割合は8割である。これらの結果より、本授業実践は教員志望の学生の望遠鏡操作の習得及び意識の向上に有効であると考えられる。その他、実習中に多々見受けられた固定用のネジを外さないまま無理やり合焦ハンドルを回す、といった事例も紹介し、指導する側の注意すべき点も報告する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Y11b アクロマート屈折望遠鏡で超色消し画像を得る試み

竹内彰継 (米子高専)

屈折望遠鏡は反射望遠鏡と比較してコントラストが高い画像が得られる、筒内気流が発生しないため望遠鏡組み立て直後から観測できる、光軸がずれにくく初心者でも簡単に扱えるなどのメリットがある。しかし、色収差が発生するという弱点があり、そのため超色消しレンズの開発が行われているが、口径が15cm以上になると極めて高価になり到底手が出ない望遠鏡となっている。

ところで、色収差を低減させるだけならアクロマートレンズでも赤、緑、青のフィルターで別々に撮像し、PC上でRGB合成すれば可能となる。そこで、色収差が非常に強く出ると予想される安価な口径15cm, F8の短焦点アクロマート屈折望遠鏡にAstronomik社のR,G,Bフィルターを装着して惑星(火星、木星、土星)を撮像し、上述の方法で色収差がどの程度低減できるか調べてみた。

まず、比較のために普通のカラーCCDカメラで惑星を撮像すると、予想通り色収差による強い青ハローが発生し、ピンボケ画像しか得られなかった。続いて、Astronomik社のフィルターを装着してR,G,B画像を別々に撮像してPC上でRGB合成したところ、蛍石アポクロマートレンズにも匹敵する色収差の少ない画像が得られた。

以上のことから、本手法を用いればアクロマート屈折望遠鏡でも惑星の模様の時間変化の追跡が十分可能であることが示された。現在アクロマート屈折望遠鏡は非常に安価になっている。このため、この手法は小、中、高校の天文クラブにも惑星の撮像観測の道を開く強力な手段になると考えられる。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Y12b 天体の地球衝突問題に対する国内外の活動について

吉川 真 (JAXA)

天体の地球衝突という問題に対処しようとする活動は、「スペースガード」ないし「プラネタリー・ディフェンス」という言葉で呼ばれている。1990年代からその重要性が広く認識され、2000年前後から活動が本格化した。本講演では、スペースガードの現在までの状況を報告し、今後の対応を検討する材料を提供したい。

スペースガードの活動には次の2つの重要な事項がある：(1) 地球に接近する天体を発見し、その軌道を正確に推定する、(2) 地球に衝突する天体がある場合に、衝突回避等の対策を検討する。(1)については、以前から天文観測として活動は行われているわけであるが、特に1998年以降、地球に接近する天体であるNEO(Near Earth Object)の観測が盛んに行われており、現在、NEOが14000個ほど発見されている。(2)については、まだ具体的な事例はないわけであるが、個別の検討がいろいろとなされてきた。

現状であるが、大きな進展としては、2013年にCOPUOS(国連宇宙空間平和利用委員会)にて、スペースガードに対応する2つのグループであるIAWNとSMPAGを作ることが決議され、実際に2014年から活動を開始したことが挙げられる。IAWNは、International Asteroid Warning Network、SMPAGは、Space Mission Planning Advisory Group であり、前者が主に(1)、後者が主に(2)に関連した活動を行う。また、専門家が集まって議論をするPlanetary Defense Conferenceという会合も定期的で開催され、議論が深められている。日本でも、(1)の活動を目指して、APAON(Asia-Pacific Asteroid Observation Network)というものを立ち上げた。また、一般の人へも正しい認識を持ってもらうために、Asteroid Dayという活動も始まった。このように天体衝突という問題に対して多くの動きがあり、日本としても積極的に対応していくべきであることを強調したい。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Y13c 「あかり」データアーカイブプロジェクトの現状 (7)

山村一誠 (ISAS/JAXA)、[「あかり」チーム](#)

赤外線天文衛星「あかり」の残した貴重なデータを天文学研究に有効に活用するため、われわれは衛星運用終了後もデータ処理・解析・アーカイブ活動を継続している。2013年4月より活動している「あかりデータ処理・解析チーム」は、処理に特別なツールとスキルを必要とする「あかり」データについて、あらかじめ処理を施したデータプロダクトを作成・公開することで、「あかり」データのより広い天文学研究への利用を進めようとしている。

我々は2016年4月末に新たに3種類のプロダクトを公開した。「遠赤外線全天天体カタログ Ver.2」は、波長65、90、140、160マイクロメートルで観測した約50万天体の情報を提供する。6年前に公開された初版に比べ、天体数の増加、信頼性・精度の向上を達成した。「近赤外線撮像データ」は、昨年3月に公開された近・中間赤外線撮像データの続編で、冷凍機冷却期の近赤外線観測のデータである。また、「近赤外線分光カタログ」は、波長2-5マイクロメートルの連続的な高感度スペクトルを提供している。ポスターでは、これらのプロダクトの詳細と今後のプロダクト作成計画を示す。

我々は、「あかり」データの科学的価値を高めるため、データに興味を持つ研究者の、データ作成・評価・アーカイブ活動への参加を呼びかけている。また、独自の視点で大規模な系統的解析を行ったユーザーが作成したデータのアーカイブ支援も行っている。興味のある方は iris_help@ir.isas.jaxa.jp まで遠慮なくお問い合わせいただければ幸いである。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Y14c 分光データを用いた自主学習型解析体験教材の開発

伊藤信成（三重大），山縣明彦（文教大），浜部 勝（日本女子大），西浦慎悟（東京学芸大）

近年、国内各地で研究的側面を前面にだした体験学習プログラムや、SSH、SPP など、大学や天文施設と連携した活動が盛んになっているが、全体数で見ればこの種の活動に参加できる高校生は僅少である。そのため、進学した先の高校で地学が開講されていなければ、たとえ天文・宇宙に興味を持ち、その習得を希望する生徒がいたとしても、独学するか学習を諦めるしかなくなってしまう。我々は、この状況を少しでも改善するため、実習を通して現代天文学の基礎を体験し、その経験を学校現場で活かしてもらうことを目的に、高校生から大学1~2年生程度を対象にした自立学習型の教材開発を進めてきた（伊藤;2014 春季 Y10a, 西浦 Y11c）。

2015年度からは、分光データを用いたテーマについて検討を始めており、データ収集やデータ較正について本学会でも報告を行っている（西浦;2016 春季 Y17c）。分光教材については、天体の運動に注目したもの2種、放射機構に関係したもの3種、元素・組成に関係したもの4種の計9種のテーマを設定している。教材に使用したデータは、データ・アーカイブシステム SMOKA (<http://smoka.nao.ac.jp/index.ja.jsp>) からダウンロードしたものを主として用いており、データだけでなくテーマの科学的意義と解析手順についてのドキュメントも提供することで、学習者が自主学習していけることを目指している。

これら作成した教材の有効性を検証するため、教員養成系大学の2年生および三重大学主催のサマーセミナーに参加した高校生に対し、2種のテーマを体験してもらい、体験前後での各テーマの理解度を比較した。本発表では、教材の詳細とともに、体験者アンケートから見えてきた本教材の効果と課題について検証する。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Y15c 全天モニタ画像の残差の評価と補正について

小澤友彦（紀美野町文化センター）、尾久土正巳（和歌山大学観光学部）

我々はみさと天文台において全天カメラの運用を行っている。この全天モニタ画像に対して位置較正を行い、画像上の星の検出と同定を行った。本件では星の検出位置と投影位置の残差について評価し、補正を行ったので報告する。

全天カメラは毎分1枚の頻度で昼夜撮影を行っている。夜間においては星座や天の川が写り、臨場感が高く教育的に有効な画像である。この画像を有効に利用できるよう位置較正を行い、夜間の天候情報の自動決定ならびに好天画像の検索手法を確立した（2016 春季年会 Y14b）。

星の検出同定にて得られた残差が天球面に固定したものと考え、多数の画像から得られた残差を重ねて天球上の位置における残差の代表値（残差マップ）を作成した。これを残差の分布パターンとし、天球面での補正量とし再度検出同定を行った。

本件では、残差マップを示すとともに再検出による結果について議論する。また残差の時間変動などについても考察する。

尚、本研究は科研費（16K01112）の助成を受け行われたものである。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)

Y16c 岡山天文博物館所蔵の分光器「新カセ」についての展示解説

安藤和子, 石神あやゑ, 岡田育磨, 加藤真奈, 谷川恒一, 由井隼人, 福田尚也, 田邊健茲, 赤澤秀彦
(岡山理科大学), 栗野諭美(岡山天文博物館)

岡山天文博物館には、1984年から2001年まで岡山天体物理観測所で使用されていたカセグレン分光器(通称「新カセ」)の、現物が展示されている。しかしながら、その解説はまだ作成されていなかった。岡山理科大学は浅口市と教育に関する協定を結んでおり、生物地球学科・天文学コースでは、岡山天文博物館で博物館実習をしている。そこで私たちは、2015年度の博物館実習のテーマとして、来館者に対して教育・普及的意味を持つ「新カセ」についての展示解説の制作に取り組んだ。

展示解説では、開発の経緯、新カセの特徴などの観点から、これについての説明を行うことを目的とした。分光器の過去と現在を比較し、違いを示すことでその仕組みや原理が確実に現在の天文学の観測につながっていることを学んだ。またその上で、新カセの外見や、可能な範囲で内部を調べ写真撮影を行い、構造を調べた。これらの写真資料も展示物として活用できると思われる。なお、現在分光器の要となる回折格子は取り外され、岡山天体物理観測所に保管されていることも判明した。このような装置を歴史的資料として残すことは重要であると考えられる。

[セッションのトップに戻る](#)

[スケジュールに戻る](#)